

**EFFECTO DEL USO DE ROBÓTICA SOCIAL EN NIÑOS CON PARÁLISIS CEREBRAL
PARA APLICARLO EN TERAPIAS DE REHABILITACIÓN DE MARCHA ASISTIDA POR
LOKOMAT**

ANA VIVIAN CALDERÓN ECHEVERRÍA

Pasantía de investigación

Tutor

PhD. Carlos Andrés Cifuentes García

Co-Tutor

PhD. Marcela Cristina Múnera Ramírez



**UNIVERSIDAD DEL ROSARIO
ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO
PROGRAMA DE INGENIERÍA BIOMÉDICA
BOGOTÁ D.C
2020**

AGRADECIMIENTOS

Primero quiero expresar mi gratitud a Dios, a mi padre que desde el cielo me brinda luz y fuerzas para seguir adelante y que con ayuda de mi madre me formaron para ser la persona que soy. A toda mi familia por estar siempre presentes. A mis amigos por su ayuda y acompañamiento incondicional.

Gracias a la Clínica Goleman, a su grupo de terapeutas, pacientes y directivos que permitieron el desarrollo del presente estudio de la mejor manera. A la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito por financiar mi práctica de investigación.

Por último, agradezco a mis maestros de la Universidad del Rosario y la Escuela Colombiana de Ingeniería por brindarme los conocimientos que me ayudaron a crecer en mi carrera profesional. Especialmente a mi tutor Carlos Cifuentes y Co-tutora Marcela Múnera por su apoyo en esta investigación.

RESUMEN

La discapacidad es compleja, dinámica, multidimensional y controvertida [1]. Según estimaciones de la Organización Mundial de la Salud en 2010 más de mil millones de personas viven con algún tipo de discapacidad; es decir, alrededor del 15% de la población mundial [2].

La discapacidad es especialmente alta en los países que salen de conflictos y en áreas de desastres naturales [5]. Ahora bien, en Colombia el censo de población de 2019 realizado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), se encontró que a nivel nacional aproximadamente 3'065.361 personas (7,1%) están en situación de discapacidad, mayoría de estas personas están en la edad más productiva [6]. Sin embargo, las diferencias regionales son significativas y los departamentos con el mayor número de personas con discapacidad tienen una tasa de prevalencia promedio de entre 7.8% y 9.5% aproximadamente. El conflicto armado ha resultado en muchas víctimas de minas terrestres y la situación de las personas con discapacidad también se ve agravada por los desplazamientos causados por el mismo conflicto [7].

La parálisis cerebral (PC) es la discapacidad motora más común en la infancia [8]. De acuerdo con los estudios referentes a la incidencia y prevalencia de la parálisis cerebral realizados recientemente, alrededor de 2 o 3 niños por cada 1.000 bebés nacidos desarrollan parálisis cerebral. Al año en el mundo se diagnostican de 1.200 a 1.500 casos de niños en la edad preescolar que presentan parálisis cerebral. De todas las personas que padecen esta condición el 61% de ellas presentan el tipo espástico, siendo este el más común [9].

Las personas con parálisis cerebral tienen limitaciones en la postura y el movimiento general que reducen la participación en actividades físicas y sociales [10]. Junto con los déficits motores, hay condiciones coexistentes que comúnmente ocurren con la PC ya sea cognitivas o sensoriales [11]. Para las terapias de rehabilitación un objetivo muy importante es mejorar la movilidad y la capacidad de caminar. La mejora de la marcha tiene un impacto positivo en el logro de las actividades diarias y sociales [12].

En estudios anteriores se habla de beneficios de usar Robótica de asistencia social (SAR por sus siglas en inglés) en terapias de rehabilitación para mejorar la función física y cognitiva de los niños con PC [18]. En SAR el robot tiene como objetivo crear una interacción cercana y efectiva con un usuario humano con el fin de brindar asistencia y lograr un progreso medible en convalecencia, rehabilitación, aprendizaje, entre otros [15].

En el presente estudio se desea analizar el efecto de la robótica social en niños con parálisis cerebral con el fin de ponerlo en práctica en terapias de rehabilitación de marcha asistida por Lokomat para mejorar el rendimiento en las mismas, así como también la motivación a participar en ellas. Para esto se adaptó una interfaz de usuario, integrando módulos para las etapas de una sesión de interacción robótica en la clínica Goleman con niños que presentaban

parálisis cerebral y se integró la adquisición de señales de EMG para próximas sesiones de terapia de marcha asistida por Lokomat.

Para la realización de lo anteriormente descrito se siguió la siguiente metodología. En primer lugar, se realiza una descripción detallada del proceso y los materiales usados para la creación de la interfaz de usuario. Posteriormente, se especifica el protocolo de interacción robótica utilizado con los niños vinculados al estudio en la clínica Goleman. Finalmente, se declara el protocolo clínico que permite incluir el uso de sensores de electromiografía y robótica social en sesiones de terapia de marcha asistida por Lokomat a largo plazo. De acuerdo con lo anterior, los resultados obtenidos corresponden a la muestra del programa finalizado resaltando cada ventana de la aplicación y su uso de forma clara, asimismo, a partir de los protocolos implementados se exponen los datos numéricos y pruebas estadísticas obtenidas de las sesiones de terapia. Con estos datos, se hizo énfasis en el análisis del nivel de atención de los niños hacia el robot, este mostró porcentajes mayores al 69% y una diferencia significativa entre el inicio y el final de la sesión, lo que indica finalmente una mejora en su desempeño.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	9
1.1. Motivación	9
1.2. Proyecto relacionado	11
1.3. Objetivos del proyecto	11
1.3.1 Objetivo general.....	11
1.3.2 Objetivos específicos	11
1.4. Contribuciones.....	12
1.5. Organización del documento	12
2. ESTADO DEL ARTE	14
2.1. Parálisis cerebral infantil.....	14
2.1.1 Causas y factores de riesgo	14
2.1.2 Tipos de parálisis cerebral	14
2.1.2.1 Parálisis cerebral espástica	15
2.1.2.2 Parálisis cerebral discinética.....	16
2.1.2.3 Parálisis cerebral atáxica.....	16
2.1.3 Signos y síntomas	16
2.1.4 Terapia física para parálisis cerebral	16
2.2. Marcha humana.....	17
2.2.1 Fases de marcha.....	17
2.2.2 Rehabilitación de marcha	18
2.2.3 EMG en terapias de rehabilitación de marcha	19
2.3. Rehabilitación con Lokomat.....	20
2.4. Robótica social	23
3. METODOLOGÍA	26
3.1. Interfaz gráfica para la interacción social	27
3.1.1 Requerimientos para el desarrollo de la interfaz	27
3.1.2 Arquitectura de las ventanas que componen la interfaz.....	28
3.1.3 Flujo de datos desde el Hardware hasta la aplicación de la interfaz	29
3.1.4 Herramientas utilizadas para el desarrollo de la interfaz.....	30
3.1.4.1 Python	30
3.1.4.2 Robot humanoide NAO.....	30
3.1.4.3 Choregraphe	32
3.2. Protocolo de interacción robótica.....	34
3.2.1 Criterios de inclusión	34

3.2.2	Criterios de exclusión	34
3.2.3	Participantes.....	34
3.2.4	Escenario experimental	35
3.2.5	Intervención desarrollada.....	36
3.2.6	Puntajes asignados por tarea	38
3.2.7	Variable medidas.....	38
3.2.8	Prueba estadística	39
3.3.	Protocolo para la integración de un robot social y sensores de EMG para niños que presentan PC y realizan entrenamiento de marcha con Lokomat.....	39
3.3.1	Criterios de inclusión	39
3.3.2	Criterios de exclusión	39
3.3.3	Procedimiento experimental	40
3.3.4	Escenario experimental	40
4.	RESULTADOS	41
4.1.	Interfaz	41
4.1.1	Sesión de introducción	42
4.1.2	Sesión de terapia.....	43
4.2.	Protocolo de interacción robótica.....	44
4.3.	Protocolo clínico	47
5.	DISCUSIÓN.....	50
6.	CONCLUSIONES	51
7.	RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	52
7.1.	Recomendaciones	52
7.2.	Trabajos futuros.....	52
	BIBLIOGRAFÍA.....	53
	ANEXOS.....	58
	Anexo 1	58
	Anexo 2.....	69

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Clasificación de la parálisis cerebral según el sitio de la lesión</i>	<i>15</i>
<i>Figura 2. Clasificación de la parálisis cerebral espástica por parte del cuerpo afectada</i>	<i>15</i>
<i>Figura 3. Ciclo de la marcha humana</i>	<i>17</i>
<i>Figura 4. Sistema de rehabilitación marcha / robotizado Lokomat</i>	<i>21</i>
<i>Figura 5. Partes principales de la metodología del trabajo de grado</i>	<i>26</i>
<i>Figura 6. Escenario Experimental</i>	<i>27</i>
<i>Figura 7. Arquitectura general.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 8. Flujo de datos</i>	<i>29</i>
<i>Figura 9. Robot humanoide NAO.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 10. Configuraciones de robot.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 11. Máquina de estados.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 12. Interfaz Choregraphe</i>	<i>33</i>
<i>Figura 13. Comportamiento creado con movimientos precargados del software.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 14. Comportamiento creado por medio de línea de tiempo</i>	<i>34</i>
<i>Figura 15. Escenario experimental de sesión de introducción.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 16. Menú principal</i>	<i>41</i>
<i>Figura 17. Presentación.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 18. Partes del cuerpo.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 19. Imitación</i>	<i>43</i>
<i>Figura 20. Ventana de terapia.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 21. Escenario del protocolo de introducción.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 22. Análisis de videos a través de la interfaz ELAN</i>	<i>45</i>
<i>Figura 23. Análisis de videos de los 10 participantes a través de la interfaz ELAN</i>	<i>45</i>
<i>Figure 24. Diagrama de flujo del protocolo clínico.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 25. Señal de EMG en la interfaz gráfica.....</i>	<i>49</i>

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Revisión de literatura. Publicaciones relacionadas con adquisición de señales de EMG y algoritmos de extracción de características.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 2. Revisión de literatura. Publicaciones relacionadas con el uso de Lokomat en rehabilitación infantil.</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 3. Revisión de literatura. Publicaciones relacionadas con robótica social en rehabilitación infantil.</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 4. Respuestas del robot a cada estado.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 5. Información general de los participantes en el protocolo.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 6. Protocolo de tareas.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 7. Puntajes de las intervenciones realizadas.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 8. Resultados del protocolo de introducción.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 9. Porcentajes de atención al robot al inicio y al final de la sesión.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 10. Resultado de la prueba de normalidad.....</i>	<i>47</i>

1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo de introducción se presenta la motivación general de este proyecto. Se hablará de la problemática existente partiendo de lo general a lo específico, tocando temas como la discapacidad en el mundo y en el país, estadísticas mundiales de parálisis cerebral infantil, así como las ventajas de la robótica de asistencia social en las terapias de rehabilitación. Seguido de esto, se encuentran los proyectos relacionados que se tuvieron en cuenta para enmarcar el presente estudio en la robótica social. Por último, los objetivos del estudio complementados con las contribuciones realizadas y la organización del documento.

1.1. Motivación

La discapacidad es compleja, dinámica, multidimensional y controvertida. Históricamente se trataba a las personas con discapacidad segregándolas, con soluciones como las instituciones residenciales y escuelas especiales. En la actualidad, se ha optado por la inclusión y las soluciones orientadas al componente médico se enfocan más en recursos interactivos que reconocen que la discapacidad en las personas se origina tanto en los factores ambientales como en el cuerpo [1]. Según estimaciones de la Organización Mundial de la Salud en 2010 más de mil millones de personas viven con algún tipo de discapacidad; es decir, alrededor del 15% de la población mundial [2].

En América Latina y el Caribe (ALC), hay al menos 50 millones de personas con discapacidad. Aunque los métodos de recopilación de datos en toda la región son muy variados, un estudio reciente en Brasil estima que la prevalencia de discapacidad en el país es del 14,5% [3]. Alrededor del 82% de las personas con discapacidad en ALC viven en condiciones de pobreza, esto también afecta a los miembros de la familia en la mayoría de los casos y apunta a que la discapacidad es una causa y consecuencia importante de la pobreza [4]. Las personas con discapacidad tienden a experimentar exclusión generalizada de la vida social, económica y política de la comunidad, ya sea debido a la estigmatización activa o al abandono de sus necesidades en el diseño de políticas, programas e instalaciones [5].

La discapacidad es especialmente alta en los países que salen de conflictos y en áreas de desastres naturales [5]. Ahora bien, en Colombia el censo de población de 2019 realizado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), encontró que a nivel nacional aproximadamente 3'065.361 personas (7,1%) están en situación de discapacidad y la mayoría de estas personas están en la edad más productiva [6]. Sin embargo, las diferencias regionales son significativas y los departamentos con el mayor número de personas con discapacidad tienen una tasa de prevalencia en promedio entre 7.8% y 9.5% aproximadamente. De los 32 departamentos, cinco tienen tasas particularmente altas de personas con discapacidad: Caquetá, Tolima, Vichada, Córdoba y Cauca. El conflicto armado ha resultado en muchas víctimas de minas terrestres y la situación de las personas con discapacidad también se ve agravada por los desplazamientos causados por el mismo conflicto [7].

La parálisis cerebral (PC) es la discapacidad motora más común en la infancia [8]. De acuerdo con los estudios referentes a la incidencia y prevalencia de la parálisis cerebral realizados recientemente, alrededor de 2 o 3 niños por cada 1.000 bebés nacidos desarrollan parálisis cerebral. Al año en el mundo se diagnostican de 1.200 a 1.500 casos de niños en la edad preescolar que presentan parálisis cerebral. De todas las personas que padecen esta condición el 61% de ellas presentan el tipo espástico, siendo este el más común [9].

Las personas con parálisis cerebral tienen limitaciones en la postura y el movimiento general que reducen la participación en actividades físicas y sociales [10]. Junto con los déficits motores, hay condiciones coexistentes que comúnmente ocurren con la PC ya sea cognitivas o sensoriales [11]. Para las terapias de rehabilitación un objetivo muy importante es mejorar la movilidad y la capacidad de caminar. La mejora de la marcha tiene un impacto positivo en el logro de las actividades diarias y sociales [12].

Los terapeutas tienen una carga física considerable en el desarrollo de actividades de rehabilitación debido a que son multitareas, lo cual puede dificultar la realización total de estas [13]. La robótica asistencial es una tecnología que se está utilizando ampliamente en la rehabilitación [14]. La asistencia robótica en rehabilitación es generalmente bien recibida por los pacientes y ha demostrado ser un complemento motivador en las terapias para las personas que sufren de discapacidades motoras. Es decir, existe un nuevo interés en el uso de robots sociales como asistentes en los procesos de rehabilitación [15].

Las ventajas de la terapia de rehabilitación para niños con parálisis cerebral se han visto beneficiadas debido al aumento de aplicaciones que utilizan la solución robótica a los problemas físicos [16]. Un estudio realizado en Estados Unidos acerca de rehabilitación robótica observó que los niños con autismo respondieron positivamente al robot y algunos mostraron una mayor atención, espontaneidad y frecuencia de sus sonrisas, vocalizaciones y verbalización mientras trabajaba con el robot [17].

En estudios previos se habla de beneficios de usar Robótica de asistencia social (SAR por sus siglas en inglés) en terapias de rehabilitación para mejorar la función física y cognitiva de los niños con PC [18]. En SAR el robot tiene como objetivo crear una interacción cercana y efectiva con un usuario humano con el fin de brindar asistencia y lograr un progreso medible en convalecencia, rehabilitación, aprendizaje, etc [15].

En el presente estudio se desea analizar el efecto de la robótica social en niños con parálisis cerebral con el fin de ponerlo en práctica en terapias de rehabilitación de marcha asistida por Lokomat, un dispositivo robótico conformado por una banda sin fin electrónica y un sistema de sujeción a las piernas, para mejorar el rendimiento en las mismas, así como también la motivación a participar en ellas.

1.2. Proyecto relacionado

En estudios anteriores referentes a robótica social con niños con trastorno del espectro autista y niños con otras condiciones se utilizó el robot social ONO para llevar a cabo un protocolo de atención compartida que consistía en diferentes instrucciones dadas al niño. Todo con el fin de comparar el comportamiento de ambos grupos de niños durante la interacción Humano-Robot, observando diferentes patrones de comportamiento relacionados con características del autismo se pudo identificar factores de riesgo de autismo a través de intervenciones basadas en robots [19].

En el ámbito de la terapia de rehabilitación de marcha, el Lokomat es uno de los dispositivos más utilizados, combinando el soporte del peso corporal con un sistema de banda sin fin electrónica. Los terapeutas pueden concentrarse en el paciente y en sus sesiones individuales. Sin embargo, a menudo manejar todas las tareas al tiempo puede ser difícil para una sola persona. En un estudio reciente se integró el robot social NAO para colaborar en este tipo de sesiones de rehabilitación con adultos con el fin de aminorar la carga del terapeuta y ayudar a la realimentación positiva de la postura de los pacientes ayudándolos a corregirla durante la sesión. Se mostraron buenos resultados con respecto a la realimentación, además de la motivación de los participantes por realizar la sesión de terapia [20].

El presente proyecto de pasantía se realizó en el Centro de investigación en Biomecatrónica de la Escuela Colombiana de Ingeniería y se encuentra enmarcado en la robótica de asistencia social enfocada a la población infantil que presenta parálisis cerebral implementando un robot social programado para interactuar con ellos, motivarlos y darles un nuevo foco de atención durante la terapia, todo esto teniendo en cuenta las investigaciones anteriormente mencionadas. El robot estará presente durante toda la sesión y en periodos intermitentes conversará y jugará con el niño haciendo que este participe más. El robot estará controlado por medio de una interfaz de usuario que permitirá la activación de los comportamientos en cada fase de la sesión.

1.3. Objetivos del proyecto

1.3.1 Objetivo general

Analizar el efecto del uso de robótica social en niños con parálisis cerebral para aplicarlo en terapias de rehabilitación de marcha asistida por Lokomat.

1.3.2 Objetivos específicos

- Adaptar la interfaz humano-robot a la población infantil en rehabilitación de marcha asistida por Lokomat.
- Desarrollar y validar un protocolo de interacción robótica donde se le presente el robot al niño y que este permita escoger a los participantes del estudio.

- Adaptar a la interfaz humano-robot la adquisición de señales electromiografía de miembros inferiores.
- Diseñar un protocolo clínico para integrar robótica social y electromiografía en la sesión de terapia de marcha con Lokomat en niños con parálisis cerebral.

1.4. Contribuciones

En el desarrollo de este trabajo de grado se realizaron diferentes contribuciones referentes a la integración de la robótica social en sesiones de rehabilitación.

- Se desarrolló un protocolo de interacción robótica con el objetivo de determinar si los niños con parálisis cerebral de la clínica Goleman son capaces de comprender y seguir instrucciones proporcionadas por el robot social NAO.
- Se plantearon los criterios principales y la primera versión de un diagrama de flujo del protocolo clínico para la integración de un robot social en las sesiones de rehabilitación de marcha infantil asistidas por Lokomat.
- Se adaptó la interfaz de usuario de manera que cumple con los requerimientos que se ajustan al primer protocolo desarrollado y con el planteamiento del segundo.
- Se llevó a cabo las sesiones de introducción en la clínica Goleman con un total de 10 niños que cumplían con los criterios de inclusión estipulados en el protocolo de interacción y se registró toda la sesión en video para su posterior revisión y análisis.
- Se integró en la interfaz la adquisición de las señales de EMG captadas por sensores Shimmer.
- Se diseñó un protocolo clínico para la integración de robótica social y sensores de EMG

1.5. Organización del documento

Este documento contiene siete capítulos que se dividen en Introducción, Estado del arte, Metodología, Resultados, Discusión, Conclusiones y Recomendaciones y trabajos futuros.

En el segundo capítulo se tiene el estado del arte. Se presenta todo el marco teórico por el cual está soportado el estudio, comenzando con parálisis cerebral infantil, sus causas, tipos, signos y las terapias de rehabilitación, seguido de la marcha humana, sus fases, patologías y las estrategias de rehabilitación que se realizan para corregirlas. Se habla también de la rehabilitación asistida por Lokomat, finalizando con la robótica social en rehabilitación y del robot NAO utilizado en el presente estudio.

En el tercer capítulo se presenta la metodología utilizada en este proyecto. Primero, se explica el desarrollo de la interfaz de usuario, se describe el proceso y las herramientas que se utilizaron para diseñarla. Luego de esto se explica el protocolo de interacción robótica que se

llevó a cabo en la clínica Goleman con los niños que presentan parálisis cerebral. Por último, se habla del protocolo clínico referente a la integración de sensores de electromiografía y robótica social en sesiones de terapia de marcha asistida por Lokomat que se quiere implementar a largo plazo.

En el cuarto capítulo muestra los resultados obtenidos después de seguir la metodología planteada comenzando por las ventanas de la interfaz de usuario, el cumplimiento de los requerimientos planteados y su sencillo uso, además se muestran los datos numéricos y pruebas estadísticas de los resultados de las sesiones realizadas en la Clínica con los niños.

En el capítulo cinco se tiene la discusión de los resultados obtenidos comparando con resultados en artículos científicos realizados anteriormente. En el capítulo seis se presentan las conclusiones del estudio y se habla del cumplimiento de los objetivos establecidos. En el último capítulo de este documento se tiene las recomendaciones y los trabajos futuro divididos en corto, mediano y largo plazo.

2. ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se contextualizará la patología en la que se basa el proyecto, seguido de la marcha humana que es el movimiento en el que se quiere intervenir y el método de rehabilitación más utilizado terminando con la integración de robótica social en este tipo de terapias.

2.1. Parálisis cerebral infantil

La parálisis cerebral (PC) es un término genérico que reúne un grupo de condiciones motoras no progresivas y no contagiosas. Siendo la discapacidad física más común en los niños. Las características más comunes de los niños con PC son la espasticidad, debilidad muscular, balance y poca función motora. La PC también puede afectar el desarrollo social, cognitivo y educativo de los niños [13][21].

Los síntomas de la PC varían de persona a persona. Una persona con parálisis cerebral severa podría necesitar usar un equipo especial para poder caminar, o podría no poder caminar en absoluto y podría necesitar atención de por vida. Una persona con PC leve, por otro lado, puede caminar con un patrón de marcha alterado, pero puede que no necesite ninguna ayuda especial [22]. Aunque los síntomas pueden cambiar durante la vida de una persona, la parálisis cerebral no evoluciona [23].

2.1.1 Causas y factores de riesgo

No hay una causa como tal para la parálisis cerebral, sin embargo, distintos factores que tienen lugar antes, durante o después del nacimiento o dentro de los tres primeros años pueden hacer que esta aparezca [24]. Entre los factores de riesgo que se presentan antes del nacimiento (Prenatales) se encuentran malformaciones congénitas del cerebro, incluidas las malformaciones del desarrollo cortical. Estas afecciones se pueden identificar por medio de las técnicas de imágenes modernas [25].

La mayoría de los casos de PC se atribuían a asfixia y a otras complicaciones ocurridas durante el parto (Perinatales). Sin embargo, investigaciones recientes han demostrado que sólo un 10% de los nacimientos con asfixia conllevan a PC [26]. La mayoría de las parálisis cerebrales se deben a otros factores. Algunas de estas pueden ser hemorragia anteparto o el prolapso del cordón también el inicio temprano de encefalopatía neonatal grave o moderada en lactantes de más de 34 semanas de gestación [25].

2.1.2 Tipos de parálisis cerebral

Según las áreas del cerebro afectadas por la lesión, pueden producirse uno o más trastornos del movimiento, rigidez muscular (espasticidad), movimientos involuntarios

(discinesia) y/o falta de equilibrio y de coordinación (ataxia), estos trastornos se derivan entonces en cuatro tipos principales de parálisis cerebral, como se observa en la figura 1 [22].

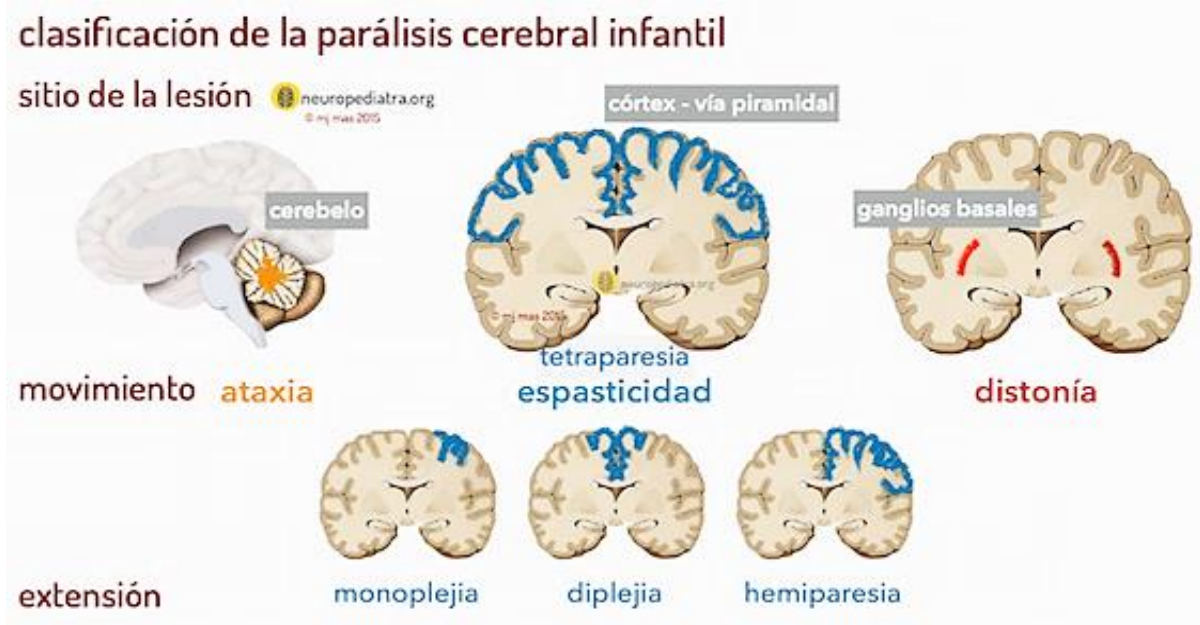


Figura 1. Clasificación de la parálisis cerebral según el sitio de la lesión [27]

2.1.2.1 Parálisis cerebral espástica

Es el tipo de trastorno más común. Afecta a aproximadamente el 80 % de las personas con parálisis cerebral. Las personas con parálisis cerebral espástica tienen los músculos rígidos, lo que causa movimientos abruptos o repetidos, por ende, se mueven con dificultad. Existen distintas formas, dependiendo de las partes del cuerpo afectadas, monoplejía y monoparesia, diplejía y diparesia, hemiplejía y hemiparesia y cuadriplejía y cuadriparesia, como se observa en la figura 2 [22] [28].

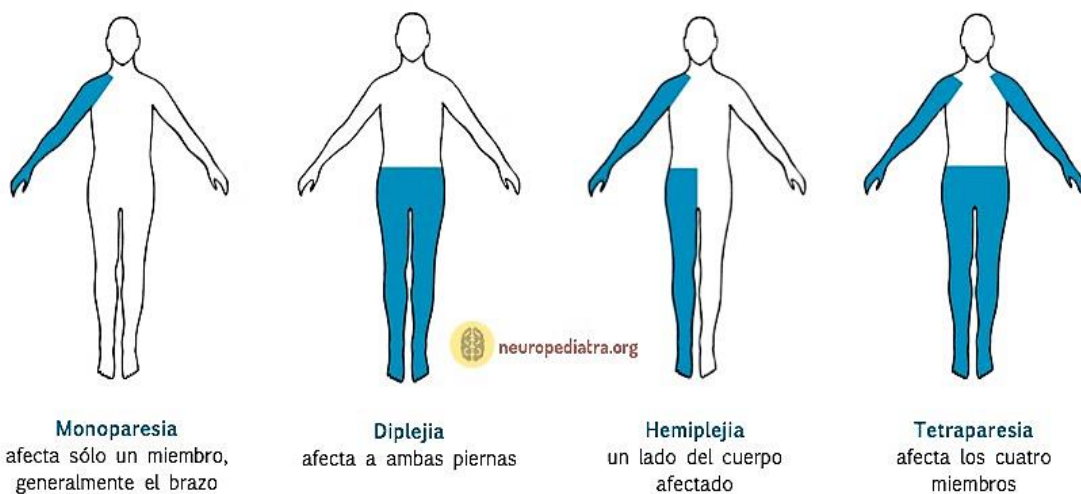


Figura 2. Clasificación de la parálisis cerebral espástica por parte del cuerpo afectada [27]

El sufijo plejía hace referencia a que el paciente es incapaz de realizar movimientos con la extremidad afectada, y paresia, hace referencia a que el paciente es capaz de realizar algún movimiento, aunque con menos fuerza que el lado del cuerpo sano [29].

2.1.2.2 Parálisis cerebral discinética

Las personas con este tipo de parálisis cerebral tienen problemas para controlar los movimientos de sus extremidades, lo que les dificulta estar sentadas y caminar [22]. No es tan frecuente, únicamente 10-15% de pacientes la padecen [27]. Se caracteriza por una variación y cambio brusco del tono muscular, lo que provoca la presencia de movimientos involuntarios y persistencia de los reflejos arcaicos [30].

2.1.2.3 Parálisis cerebral atáxica

Las personas con parálisis cerebral atáxica tienen problemas con el equilibrio y la coordinación lo que hace que presenten inestabilidad al caminar, dificultad para hacer movimientos rápidos o que requieran mucho control, como escribir [22]. Además de hacer que le resulte difícil a quien lo padece, estimar la posición del cuerpo con relación a los objetos que le rodean ocasionando golpes [27].

2.1.3 Signos y síntomas

No todos los signos de la parálisis cerebral son visibles al nacer y pueden volverse más evidentes a medida que se desarrollan los bebés [31]. El efecto primario de la parálisis cerebral es el deterioro del tono muscular, las funciones motoras gruesas y finas, el equilibrio, el control, la coordinación, los reflejos y la postura [32], también tiene que ver con retrasos en el logro de los hitos del desarrollo, como el hecho de, no sentarse a los 8 meses o no caminar a los 18 meses [33], aunque todos estos signos van apareciendo a medida que se desarrollan los niños, la lesión como tal no empeora [31].

2.1.4 Terapia física para parálisis cerebral

La fisioterapia es a menudo una de las primeras intervenciones recomendadas cuando un niño pequeño es diagnosticado con parálisis cerebral [34]. Anteriormente, los objetivos de la fisioterapia eran normalizar los patrones de movimiento, reducir los signos neurológicos y minimizar el desarrollo de discapacidades secundarias. Estas intervenciones se basaron en la creencia de que las limitaciones de la actividad física estaban directamente influenciadas por las deficiencias motoras, pero no había investigaciones que lo respaldaran [35].

El entrenamiento funcional de la marcha permite la repetición de la tarea motora impulsando la adquisición de habilidades. Apuntar a mejorar la capacidad de caminar, con el entrenamiento, se puede llegar a un aumento en la independencia y seguir con una mayor participación en la vida diaria. Esto podría ser muy importante para los individuos que

presentar parálisis cerebral [36]. Recientemente se ha comenzado a enfatizar la idea de promover la función en niños con trastornos neurológicos en su entorno natural y diario [35].

2.2. Marcha humana

La movilidad puede definirse como la capacidad que posee un individuo para desplazarse libremente a través de diferentes entornos y realizar tareas de la vida diaria con facilidad. Esta facultad humana es una de las más importantes [37].

Caminar es una tarea compleja para un humano. La locomoción implica una gran cantidad de equilibrio y estabilidad junto con una compleja oscilación sincrónica de sus diferentes articulaciones del cuerpo [38]. Sin embargo, la marcha bípeda tiene la ventaja significativa de liberar las extremidades superiores para otro uso. La marcha es una actividad compleja, ya que requiere (1) un sistema de control: comenzando en la corteza cerebral y terminando con la neurona motora, con ayuda de varias regiones del cerebro. (2) una fuente de energía: dependiente de combustible metabólico y oxígeno, (3) palancas que proporcionan movimiento: generados por momentos y (4) fuerzas para mover las palancas: músculos y fuerza de gravedad [35].

2.2.1 Fases de marcha

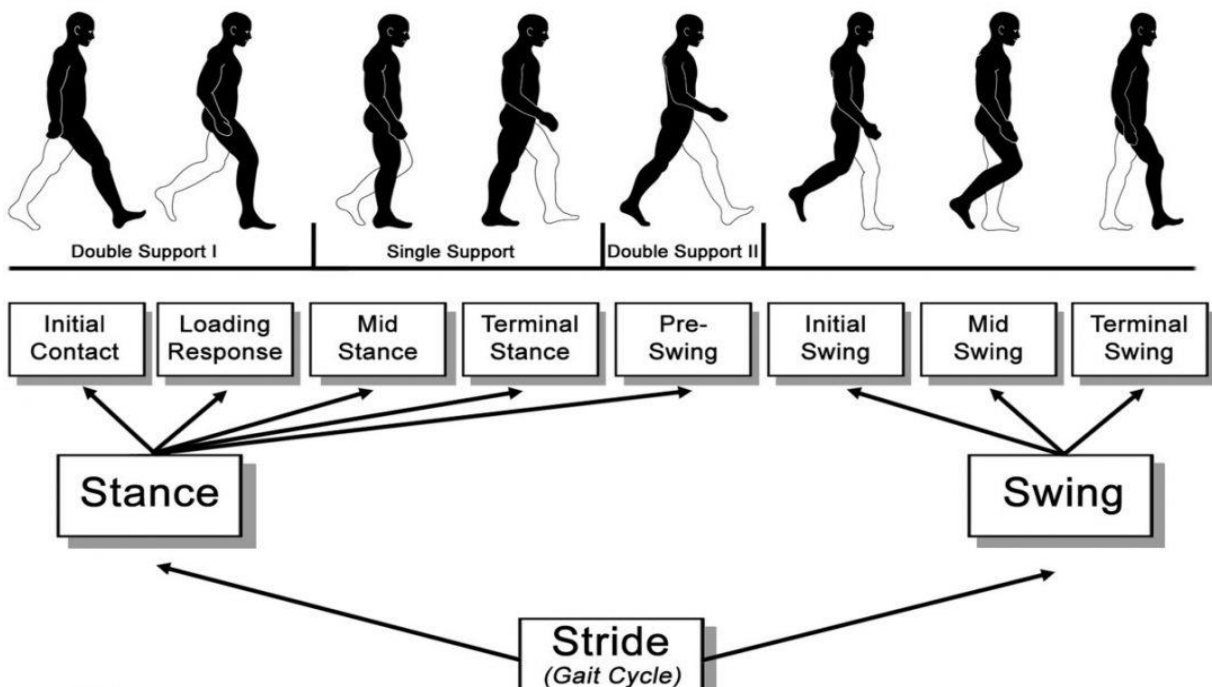


Figura 3. Ciclo de la marcha humana [39]

Se puede medir un solo ciclo de marcha desde cualquier evento de marcha hasta el mismo evento posterior en el mismo pie (Ver figura 3). Las dos piernas tienen la misma serie de eventos, con un desplazamiento de fase de medio ciclo [40]. Los aspectos cuantitativos del

ciclo de la marcha, como el tiempo y las medidas espaciales, permiten analizar la simetría, la variabilidad y la calidad de la marcha [39].

Un ciclo de marcha tiene dos fases principales: La fase de postura y la fase de balanceo, estas se alternan para cada pierna [41].

- Fase de postura: consiste en el tiempo en el que un pie está en contacto con el suelo [39]. Representa alrededor del 60% del ciclo de la marcha [41].
En esta se tienen cuatro divisiones que comienzan con: (1) el contacto inicial apenas el pie golpee el suelo, (2) aceptación de peso, cuando el peso del cuerpo se apoya sobre el pie, (3) mitad de la postura, cuando el centro de gravedad se sitúa perpendicular al pie y (4) posición terminal, cuando el pie está a punto de despegarse del suelo [42].
- Fase de balanceo: consiste en el tiempo que el pie está en el aire [39]. Constituye aproximadamente el 40% del ciclo de la marcha [41].
En esta se tienen tres divisiones: (1) el golpe inicial, es el momento en que el pie deja el suelo y empieza a balancearse por el aire, (2) balanceo, es el momento en que el pie se balancea en el aire debajo del centro de gravedad y (3) el balanceo terminal, se refiere al momento justo antes de que el pie golpee el suelo [42]

Durante la oscilación terminal, se produce el progreso final del miembro inferior y el pie se posiciona en el contacto inicial para comenzar el siguiente ciclo de marcha [40].

2.2.2 Rehabilitación de marcha

Los patrones de marcha pueden alterarse por diversos factores y trastornos [43]. Para mejorar estos trastornos se realizan tratamientos de rehabilitación física. Estas sesiones pueden darse con apoyo de fisioterapeutas, exoesqueletos, ortesis, robots, entre otros [44]. Todos estos con el mismo fin, mejorar el movimiento y llevarlo a su máximo nivel de desempeño físico para que la persona con discapacidad pueda recuperar su autonomía.

El objetivo de las terapias de rehabilitación de la marcha es dirigir la reorganización funcional de las vías sensoriales mediante un entrenamiento físico específico para cada tarea con el fin de mejorar la recuperación del miembro [45]. Una señal aferente óptima para la medula espinal se da si las piernas se mueven de forma rítmica y fisiológica. Para los fisioterapeutas, el mover las piernas de un paciente durante las sesiones pueden resultar agotador, lo que ocasiona que estas sesiones se tornen más cortas y si el paciente presenta espasticidad (rigidez muscular) excesiva la sesión puede ser incluso imposible de realizar [46].

Esto es un problema tanto para el paciente como para el fisioterapeuta por lo que en la actualidad se manejan nuevas tecnologías para mejorar la calidad de las sesiones de rehabilitación.

2.2.3 EMG en terapias de rehabilitación de marcha

Diferentes estudios utilizan la adquisición de señales de electromiografía para monitorear terapias de rehabilitación. Esto es útil ya que las señales de electromiografía que se quieren extraer del niño servirán como canal de comunicación entre la interfaz y el robot para generar la realimentación que se espera tener durante las sesiones de terapia.

Se realizó una revisión de literatura en esta se escogieron los artículos escritos en español o inglés que hablaran de las terapias de rehabilitación en donde se adquirieran señales de EMG, se rechazaron los artículos referentes a manuales o guías de usuario y las publicaciones previas al 2015. Se utilizaron las bases de datos electrónicas de la plataforma virtual del centro de recursos para el aprendizaje y la investigación (CRAI) de la universidad del rosario. Se utilizó lógica Booleana para la ecuación de búsqueda con palabras o frases clave y se adaptó a cada base de datos. Teniendo en cuenta estos criterios se eligieron las publicaciones más relevantes en este ámbito como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Revisión de literatura. Publicaciones relacionadas con adquisición de señales de EMG y algoritmos de extracción de características.

	Romo et al. [47]	Ramírez et al. [48]	Figueroa et al. [49]	Gila et al. [50]	Martínez et al. [51]
Objetivo	Revisar las técnicas utilizadas en el análisis de extracción de características en señales EMG para el control de prótesis virtuales de mano.	Maniobrar un brazo robótico en tiempo real y simula articulaciones de codo, muñeca y mano con ayuda de señales mioeléctricas.	Desarrollar un software para procesar las transformadas de Fourier de la señal SEMG de amplificada y filtrada.	Revisar por posibilidades de aplicación y el rendimiento diagnóstico de la electromiografía	Caracterizar señales eléctricas musculares y el diseñar un sistema electrónico para adquisición de la señal.
Metodología	<ul style="list-style-type: none"> - Adquisición de las señales EMG. - Procesamiento de los bloques de hardware cambios de signo, longitud de forma de onda, transformada de Fourier y Wavelet 	<ul style="list-style-type: none"> - Diagrama de bloques para el hardware - Adquisición, preprocesamiento, digitalización, procesamiento, y Brazo Robot. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema de adquisición: - Músculos - Electrodo - Circuito sensor - Amplificador - Filtros - ADC - Software de análisis. 	<ul style="list-style-type: none"> - Registro de la señal de EMG en tres estados funcionales: - Reposo - Contracción débil - Contracción voluntaria máxima. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cálculo del factor de amplificación. - Cálculo de valores correspondientes para la etapa de filtrado en función de las frecuencias de corte requeridas.

Hallazgos	<ul style="list-style-type: none"> - La correcta ubicación de las regiones musculares para adquirir señales de EMG es esencial para la discriminación de movimientos. - La variación de orden del diagrama de flujo permite obtener mayor eficiencia en el algoritmo de adquisición. 	<ul style="list-style-type: none"> - El software que se desarrolló calcula en tiempo real la MDF de una señal de EMG 	<ul style="list-style-type: none"> - Es posible obtener una señal limpia y con un tiempo de respuesta rápido - El electrodo funcional de seco permite que las UMs sólo la impedancia puede realizarse con la piel sea menor y no exista presencia de ruido en la señal. - El estudio de las relaciones entre la señal y las dimensiones anatomo funcionales de las UMs puede realizarse con simulaciones por ordenador.
-----------	--	---	--

En la mayoría de los estudios se sigue un orden en forma de diagrama de bloques que empieza en la adquisición de la señal de EMG, pasando por una etapa de filtrado y procesamiento, con el fin de obtener una señal que brinde toda la información posible. La adquisición de la señal de electromiografía en terapias de rehabilitación puede ayudar a tener datos cuantitativos de la mejora de las extremidades que se están buscando rehabilitar y con esto tomar las medidas pertinentes de realimentación para la corrección de la marcha y los músculos principales que actual en ella. Los procesamientos mencionados de las señales de EMG después de su adquisición, son de gran ayuda para tener un referente en el trabajo e integrarlos a la interfaz.

2.3. Rehabilitación con Lokomat

La ortesis robótica Lokomat está conformada por una banda sin fin electrónica, adicionalmente contiene un dispositivo de sujeción a los miembros inferiores del paciente y estas son guiadas por un programa prediseñado que busca respetar la marcha fisiológica respetando todos los parámetros morfofisiológicos del paciente, también se acompaña la sesión con un software de rehabilitación visual como se observa en la figura 4 [52]. La terapia asistida por robot permite un entrenamiento eficaz e intenso y garantiza el aprovechamiento óptimo del potencial de neuro plasticidad y recuperación [53].



Figura 4. Sistema de rehabilitación marcha / robotizado Lokomat [53]

Actualmente, el Lokomat es uno de los robots de rehabilitación más utilizados y validados [54]. El uso del Lokomat, por períodos largos de tiempo, permite lograr y mantener patrones de marcha similares a los fisiológicos. En una sesión con el Lokomat, el dispositivo robótico hace la mayor parte del trabajo pesado, que se necesita para realizar la marcha. El patrón de marcha es constante en toda la sesión y el ejercicio puede ser mantenido por largos periodos de tiempo haciéndolo más efectivo [55].

Diferentes estudios se han enfocado en la rehabilitación de marcha asistida por Lokomat, esta revisión busca saber cómo se llevan a cabo estas sesiones de rehabilitación, cuantos pacientes participan y las mediciones que les realizan para medir el rendimiento. Para la revisión se escogieron los artículos escritos en español o inglés que hablaran de las terapias de rehabilitación enfocadas a niños que presentaran parálisis cerebral, se rechazaron los artículos referentes a manuales o guías de usuario y las publicaciones previas al 2012.

Se revisaron las bases de datos electrónicas Scopus, Pubmed y Ovid, el acceso a estas bases se dio mediante la plataforma virtual del centro de recursos para el aprendizaje y la investigación (CRAI) de la universidad del rosario. Se utilizó lógica Booleana para la ecuación de búsqueda con palabras o frases clave y se adaptó a cada base de datos. Teniendo en cuenta estos criterios se eligieron las publicaciones más relevantes en este ámbito como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Revisión de literatura. Publicaciones relacionadas con el uso de Lokomat en rehabilitación infantil.

	Wallard et al. [56]	Weinberger et al. [57]	Phelan et al. [58]	Peri et al. [59]
Objetivo	Identificar los efectos de la rehabilitación en niños con diferentes niveles de discapacidad motora según el sistema de clasificación de la función motora gruesa (GMFCS).	Evaluar la mejora en la función motora gruesa de una terapia intensiva de tres semanas con banda sin fin mejorada por robot (programa ROBERT).	Investigar los cambios en la marcha entre niños con diferentes niveles de GMFCS y la relación dosis-respuesta.	Evaluar el efecto de la frecuencia y la duración de un RAGT sobre el resultado motor de los niños afectados por parálisis cerebral (PC).
Participantes	110 (lesión cerebral adquirida), 72 (CP).	135 niños con CP.	67 niños con CP.	44 niños con CP.
Descripción de la terapia	<ul style="list-style-type: none"> - 20 sesiones de Lokomat y 20 sesiones de terapia física, supervisadas por fisioterapeutas pediátricos. - Terapia física: programa de ejercicios. - Marcha asistida: soporte de peso inicial: 50% y fuerza de guía: 100% - Reducción gradual. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ajuste de la duración de la caminata y la velocidad de la banda sin según el paciente (30-60 min/día). - Reducir el peso durante el progreso de la terapia. - El terapeuta alienta continuamente al paciente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Programa multidisciplinario de varias terapias de acuerdo con las necesidades de cada uno. - Tres a cinco entrenamientos de Lokomat por semana, además de cuatro a cinco sesiones de fisioterapia por semana. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cuatro grupos de entrenamiento, con diferentes dosis de entrenamiento de 40 sesiones (30 min c/u), con diferente duración (10 o 4 semanas), frecuencia (4 o 10 sesiones / semana) y tipos de intervención (RAGT o TOP o ambos).
¿Que se midió?	<ul style="list-style-type: none"> - Función motora gruesa (GMFM) - Prueba de caminata de 6 minutos (6MWT). 	<ul style="list-style-type: none"> - Función motora gruesa (GMFM) 	<ul style="list-style-type: none"> - Independencia funcional para Niños (WeeFIM) - GMFM 66 - Prueba de caminata de 10 m (10MWT), - Prueba de caminata de 6 minutos (6MinWT). 	<ul style="list-style-type: none"> - Función motora gruesa-88 (GMFM-88) - GMFM-66 - Prueba de caminata de 6 minutos (6MWT) - Rango de movimiento (ROM)

Hallazgos	- Los niños con discapacidad motora pueden beneficiarse de una combinación de rehabilitación robótica y fisioterapia.	- Mejora progresiva clínicamente significativa en el rendimiento motor, mejoras en el GMFCS.	- Los niños con un nivel IV de GMFCS experimentaron mejoras significativas en los resultados de marcha.	- Los enfoques de tratamiento único parecen ser más efectivos que los enfoques mixtos, independientemente de la duración.
-----------	---	--	---	---

La mayoría de estos estudios utilizan el sistema de clasificación de la función motora gruesa (GMFCS) el cual se basa en el movimiento que se inicia voluntariamente, examina movimientos como sentarse, caminar o el uso de dispositivos de movilidad y los clasifica en cinco niveles, este sistema se creó para niños con parálisis cerebral [60]. En general estas terapias con Lokomat se realizan por varias semanas para obtener resultados significativos, por lo que estudio a largo plazo pueden ser una mejor opción para una investigación en este ámbito. También se habla de que la combinación de terapia robótica con terapia convencional muestra resultados positivos en la mejora de los niños con parálisis cerebral. Esto último, sirve de justificación para aumentar las terapias de rehabilitación robótica, con el fin de obtener resultados cada vez más favorables.

2.4. Robótica social

La Robótica Social es el estudio de los robots que son capaces de interactuar y comunicarse entre ellos, con los humanos y con el medio ambiente, dentro de la estructura social y cultural vinculada a su función [61]. La tecnología robótica hoy en día ha cambiado para ayudar a las personas con discapacidad. El desarrollo, uso y prueba de los robots sociales para el área de la salud es cada vez mayor [62]. Un robot social es un sistema de inteligencia artificial (IA) diseñado para interactuar con humanos y otros robots [66]. Estos robots ayudan a satisfacer la alta demanda en salud y a mejorar la atención brindada [62][13].

La investigación en el campo de la terapia asistida por robot está significativamente orientada a sistemas para la neurorrehabilitación clínica de trastornos motores y la terapia de dificultades relacionadas con el autismo [63]. En este campo se encuentran diversos estudios relacionados con robótica social y niños con autismo, sin embargo, los estudios que presentan resultados de la robótica social en niños que presentan parálisis cerebral son más escasos [64].

Los robots interactivos ya se utilizan en el entorno humano actualmente, como escuelas, hospitales y en los hogares, se les asignan muchos tipos de tareas y ya se han propuesto como herramientas de ayuda en la rehabilitación [65]. Estos robots también se han utilizado en intervenciones en niños con autismo. En ambos casos los niños demostraron que los robots humanoides son una herramienta útil para generar niveles de atención en los niños, así como también hacen de mediadores en los procesos de aprendizaje individual. Los estudios con robots humanoides también han sido enfocados a niños con parálisis cerebral, mostrando resultados positivos [17].

Diferentes estudios utilizan la robótica social para terapias de rehabilitación con el fin de motivar al niño y mejorar los resultados durante la sesión. En primera estancia se utilizaron dos artículos de revisión. El primero artículo referente a los niños con trastorno del espectro autista (TEA) y la robótica social, tenía como objetivo aclarar si variables como el sexo, IQ y la edad, afectan el resultado en las terapias [62]. El segundo referente a la ayuda que proporciona la robótica social a los niños en el ámbito de la salud [67]. Se eligieron los artículos más relevantes acerca de las diferentes terapias de atención compartida en niños con autismo y niños con parálisis cerebral, todas estas incluyen robótica social (ver tabla 3).

Tabla 3. Revisión de literatura. Publicaciones relacionadas con robótica social en rehabilitación infantil.

	Bekele et al. [68]	Warren et al. [69]	Michaud et al. [70]	Fridin et al. [71]	Kozyavkin et al. [72]	Malik et al. [13]
Objetivo	Probar la viabilidad y la utilidad de un sistema robótico adaptativo para dar indicaciones de atención conjunta.	Comprobar el rendimiento de los niños a estímulos de atención conjunta. Evaluar la atención robot en la sesión.	Verificar que un objeto animado, haría que un niño autista demostrara una comunicación recíproca	Entrenar agentes robóticos para la función motora del CP.	Desarrollar escenarios de movimiento para el robot de rehabilitación y evaluar los posibles beneficios.	Viabilidad de utilizar el SAR para mejorar la función física y cognitiva de los niños con parálisis cerebral.
Robot	NAO	NAO	TITO	NAO	KINETRON	NAO
Indicaciones	Mirar Mirar apuntar Mirar apuntar escuchar Mirar apuntar escuchar vídeo	+ Mirar + Mirar apuntar + Mirar apuntar + escuchar + Mirar apuntar + video	+ Juegos de imitación: + expresiones faciales, + movimientos corporales.	Sit-to-stand transition Hands Rising and holding Stand-to-sit transition	Hablar mirar apuntar imitar	Introducción. + Sentado y de pie. + Equilibrio. Patear la pelota.
Hallazgos	- Niños de ambos grupos con necesitaban más atención para mejor respuesta los robots en comparación	- Los niños TEA fueron capaces de responder a las indicaciones de un robot humanoide	- La comprensión de movimientos corporales es más alta con el humano. Debido a los movimientos limitados del robot	- Niños con PC: mayor nivel de interacción, peor rendimiento del miembro. Comparación a niños con	Todos los niños gustaba las sesiones de rehabilitación con el robot.	Los niños demostraron respuestas positivas; el estudio contribuyó una medida de la atención durante la

En general se muestran resultados positivos con el uso de un robot que asista en la sesión. El robot permite tener una medida de atención durante la terapia para cuantificar la interacción humano-robot. La mayoría de los artículos utilizan el robot social NAO en sus respectivas sesiones de terapia, las acciones que más ejecuta son las de apuntar hacia un objeto o imagen determinada para con la intención de llamar la atención del niño hacia el mismo, adicionalmente también realiza actividades de imitación para que el niño las siga.

De acuerdo con lo anterior y como la mayoría de los niños prefieren los robots, NAO tiene el potencial de ser utilizado como una herramienta en la terapia de rehabilitación para niños con parálisis cerebral. Además, el tamaño del NAO es como un niño de 2 años lo cual llama la atención de los niños. Es producido por la compañía francesa Aldebaran-Robotics [14].

3. METODOLOGÍA

El presente trabajo está diseñado teniendo en cuenta un enfoque metodológico de tipo mixto, debido a que este se adapta a las características de la investigación.

El proceso de investigación mixto implica una recolección, análisis e interpretación de datos cualitativos y cuantitativos que hayan sido considerados necesarios para el estudio. Este método representa un proceso sistemático, empírico y crítico de la investigación, en donde se fusionan la visión objetiva de la investigación cuantitativa y la visión subjetiva de la investigación cualitativa para dar respuesta a problemas.

La validez en los métodos mixtos ha sido abordada desde diversas perspectivas. En varias investigaciones la validez se trabaja de manera independiente para los enfoques cuantitativo y cualitativo, buscando validez interna y externa para el primero, y la dependencia y otros criterios para el segundo [73].

En este capítulo se presenta los métodos utilizados para todo el desarrollo del estudio. Para el cumplimiento de los objetivos se dividió el proyecto en tres partes como se muestra en la figura 5.

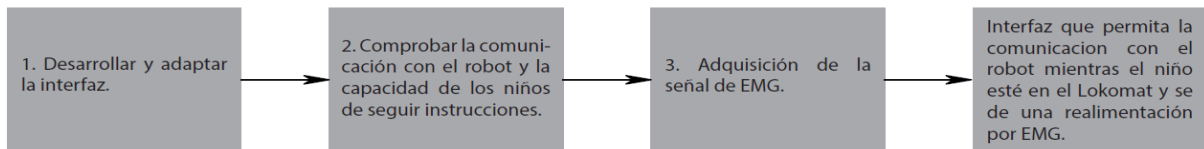


Figura 5. Partes principales de la metodología del trabajo de grado

Consiste en la descripción general del desarrollo de la interfaz de usuario que será utilizada en las sesiones de introducción y terapia. Seguido de esto, se explicará el procedimiento ejecutado en el protocolo de interacción robótica con los niños de la clínica Goleman y la adquisición de EMG por medio de la interfaz. Por último, se explican los aspectos principales del protocolo clínico para la integración de robótica social en las terapias de rehabilitación de marcha asistida por Lokomat, sin embargo, no se implementó en este estudio.

En la figura 6 se muestra el escenario general que integra las partes de la metodología descritas en la figura 5.

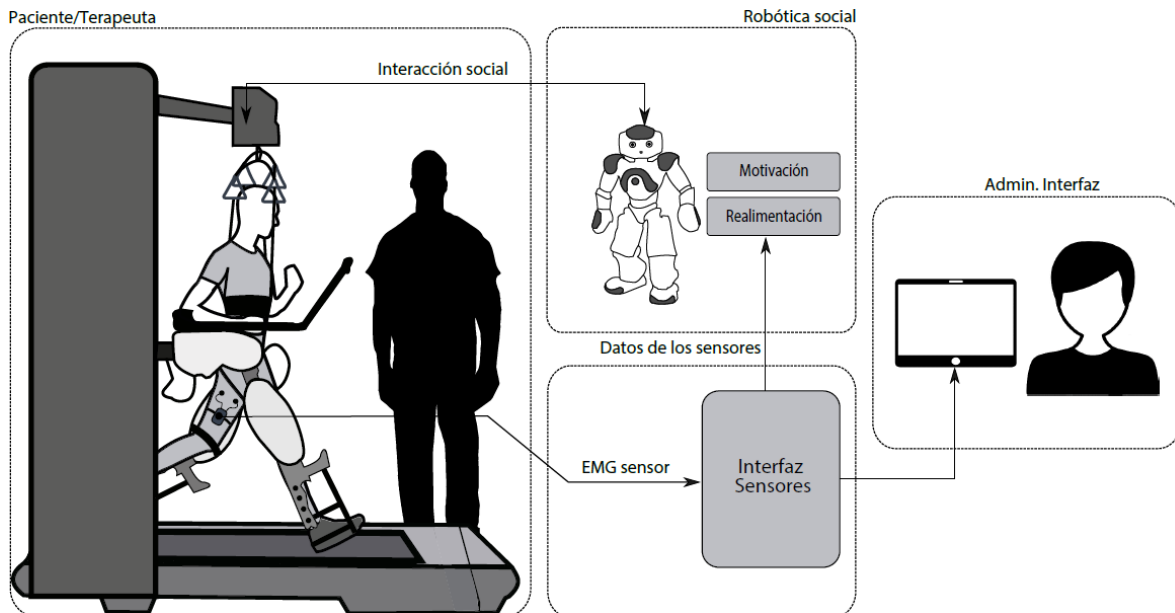


Figura 6. Escenario Experimental

Estas sesiones van dirigidas a niños con parálisis cerebral, en la figura 6 se presenta el escenario experimental esperado. Se observan diferentes bloques comenzando por el de paciente terapeuta, durante toda la sesión el terapeuta estará guiando al niño en compañía del robot y este permitirá que se cree la interacción social. Los sensores de EMG estarán activados durante toda la sesión y la información se enviará a la table y al robot para que este pueda realimentar. Un ingeniero a cargo de la administración de la interfaz y los datos estará presente de igual manera durante toda la sesión.

3.1. Interfaz gráfica para la interacción social

Para llevar a cabo de manera satisfactoria los dos protocolos, se necesita utilizar una interfaz gráfica que permita controlar las instrucciones, datos de los sensores y configuración del robot en ambas terapias durante las sesiones.

3.1.1 Requerimientos para el desarrollo de la interfaz

Para tener claridad respecto a las funciones específicas que se necesitaban en la interfaz, se realizó una lista de requerimientos necesarios.

- 1) La interfaz debe permitir la conexión entre el dispositivo electrónico (Tablet) y el robot NAO.
- 2) La interfaz debe tener la opción de elegir el tipo de sesión que se desea trabajar (Introducción o Terapia).
- 3) La interfaz debe permitir un flujo entre ventanas, de modo que se pueda retroceder o adelantar a una ventana diferente.
- 4) Para la sesión de introducción cada ventana debe tener la opción de graduar el volumen del robot.

- 5) Para la sesión de introducción cada ventana debe tener entrada de texto la cual se transmitirá al robot para que este la reproduzca.
- 6) Para la sesión de introducción la interfaz debe permitir repetir las instrucciones del robot un mínimo de tres veces.
- 7) Para la sesión de terapia la interfaz debe permitir la elección del número de sensores y cuáles de ellos se van a realimentar en esa sesión.
- 8) Para la sesión de terapia la interfaz debe permitir la visualización de la señal de EMG de los sensores elegidos.
- 9) La interfaz debe ser organizada y sencilla de tal modo que sea fácil de manejar para cualquier persona.

Para cumplir con estos requerimientos se utilizaron diferentes herramientas de programación y el software asociado al robot y los sensores.

3.1.2 Arquitectura de las ventanas que componen la interfaz

La interfaz gráfica se diseñó en el lenguaje de programación Python y con arquitectura de tipo modular, lo que permite que sea sencillo adicionar ventanas y/o funciones al código.

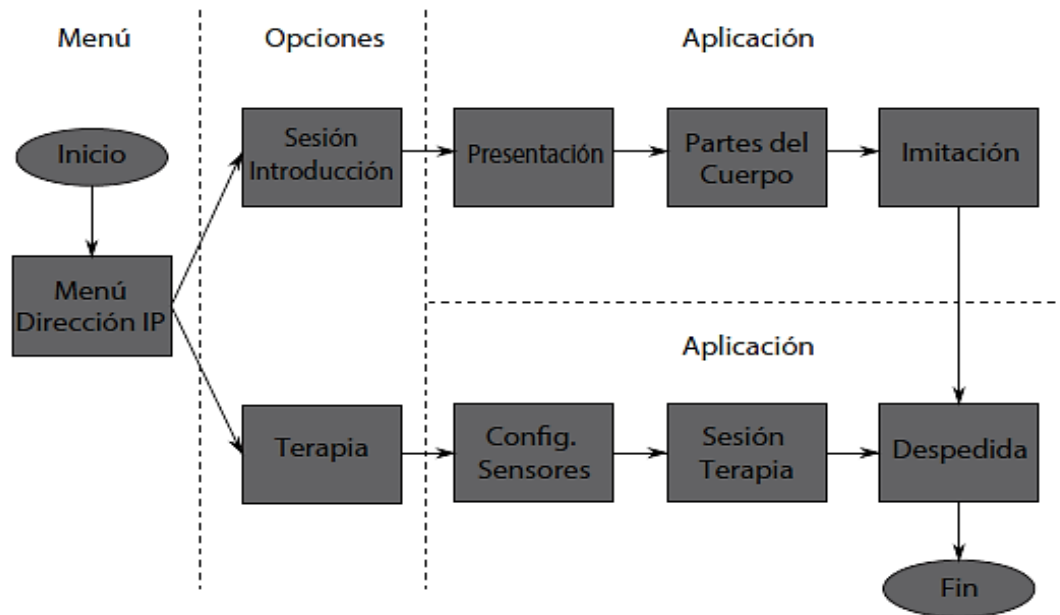


Figura 7. Arquitectura general

En la figura 7 se observa de manera sencilla el diseño de la arquitectura general de la interfaz y las diferentes opciones que tiene el usuario para navegar por ella, comenzando con el menú donde se colocará el IP del robot que se va a utilizar, después se debe elegir el tipo de sesión que se va a realizar; si la elección es “introducción” se despliegan tres ventanas que permiten realizar las diferentes etapas de la sesión y culminada esta, el robot se despide y se finaliza; si la elección es “terapia” solo abrirá una ventana en la que se podrá configurar los sensores y monitorear toda la sesión de terapia, cuando esta acaba, el robot se despide y se finaliza.

3.1.3 Flujo de datos desde el Hardware hasta la aplicación de la interfaz

El flujo de datos desde el hardware hasta la aplicación se observa en la figura 8.

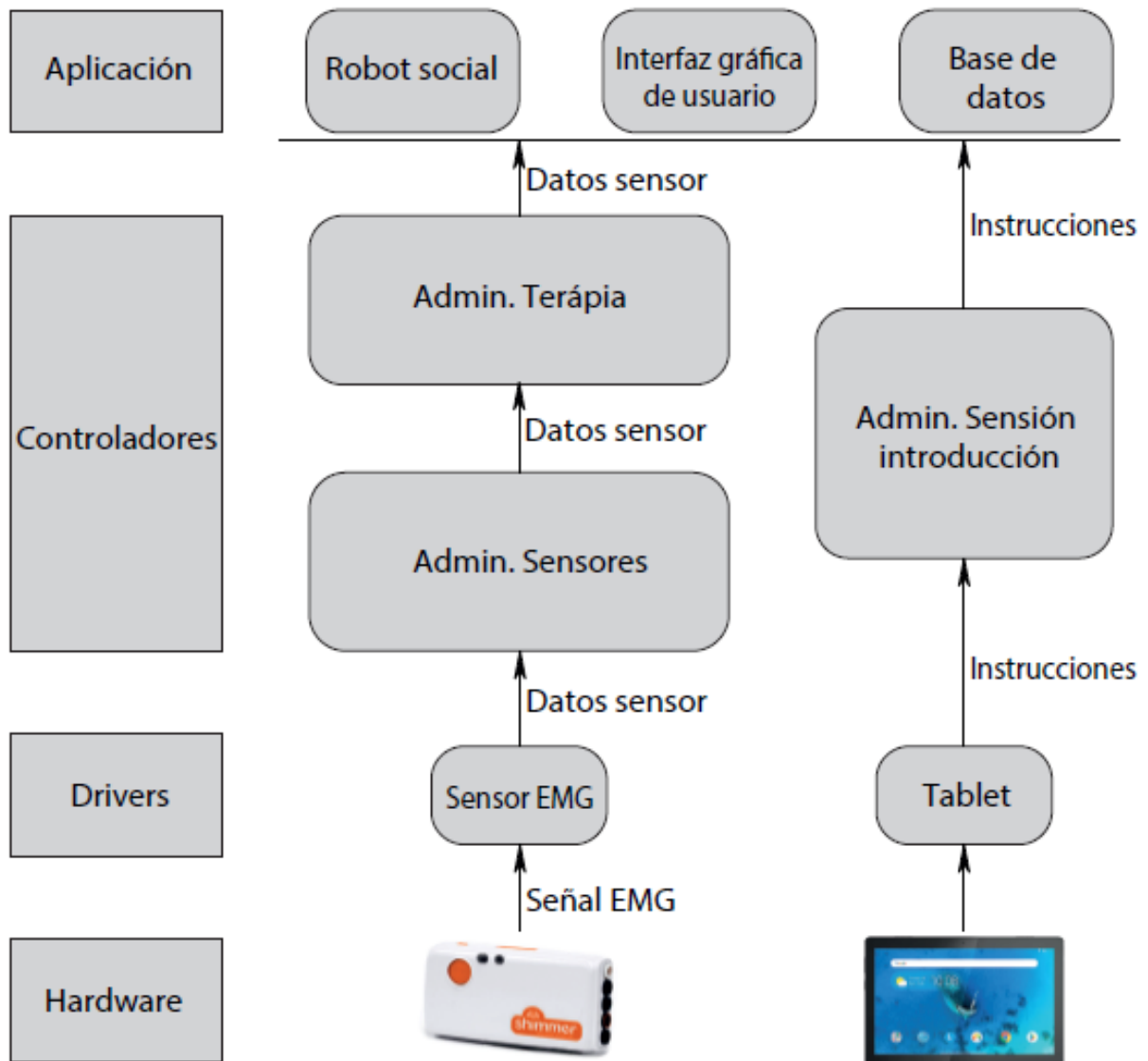


Figura 8. Flujo de datos

Para la terapia, los datos de EMG se recolectan con los sensores Shimmer y estos datos pasan a graficarse en la interfaz y así mismo activan los comportamientos del robot el cual realimentará en la terapia, corrigiendo el movimiento del niño y/o motivándolo a hacerlo mejor. Para la introducción todos se controla a través de un dispositivo electrónico donde el usuario controla las instrucciones del robot en cada fase de la sesión, así como todos sus comportamientos, así mismo todo se graba para tener una base de datos de estas sesiones.

3.1.4 Herramientas utilizadas para el desarrollo de la interfaz

Para cumplir con estos requerimientos se utilizaron diferentes herramientas de programación, softwares asociados al robot y el robot mismo.

3.1.4.1 Python

Python es un lenguaje de programación orientado a objetos simple pero poderoso. Gran parte del poder de Python proviene de su completo conjunto de módulos de extensión que proporcionan una amplia variedad de funciones, una de ellas es el diseño de interfaces gráficas de usuario [74]. PyQt es una interfaz de Python para Qt compuesta por un conjunto de herramientas de widgets GUI, es una de las bibliotecas GUI multiplataforma más poderosas y populares [75]. Con esta última biblioteca se estructuró el código de la interfaz de usuario.

3.1.4.2 Robot humanoide NAO

El robot NAO tiene una altura de 0,58 metros y un peso de 4,5 kg (ver figura 9). En este estudio, NAO ejecutará diferentes acciones durante las sesiones de rehabilitación con el fin de guiar al niño durante la misma, motivarlo cuando realice las actividades correctamente y alentarlos a mejorar en caso contrario.

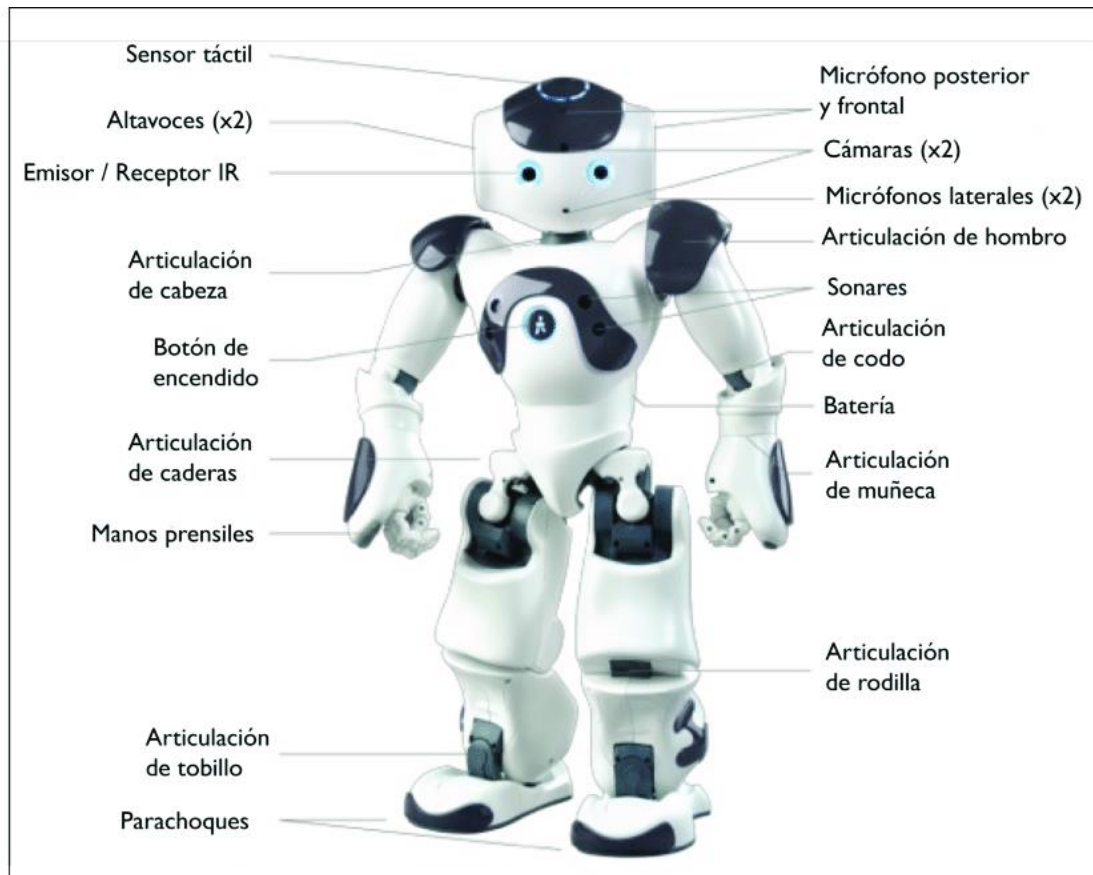


Figura 9. Robot humanoide NAO [76]

El robot contiene un software asociado a su dirección internet (IP) y con esta se puede acceder a sus configuraciones por medio de navegador, este solicita un usuario y contraseña para ingresar a la interfaz. Ahí se puede configurar Volumen, revisar el nivel actual de batería y la versión que se está ejecutando actualmente en NAO (Ver figura 10).



Figura 10. Configuraciones de robot [77]

El comportamiento del robot durante las sesiones de introducción y terapia se puede describir de manera sencilla mediante una máquina de estados (ver figura 11).

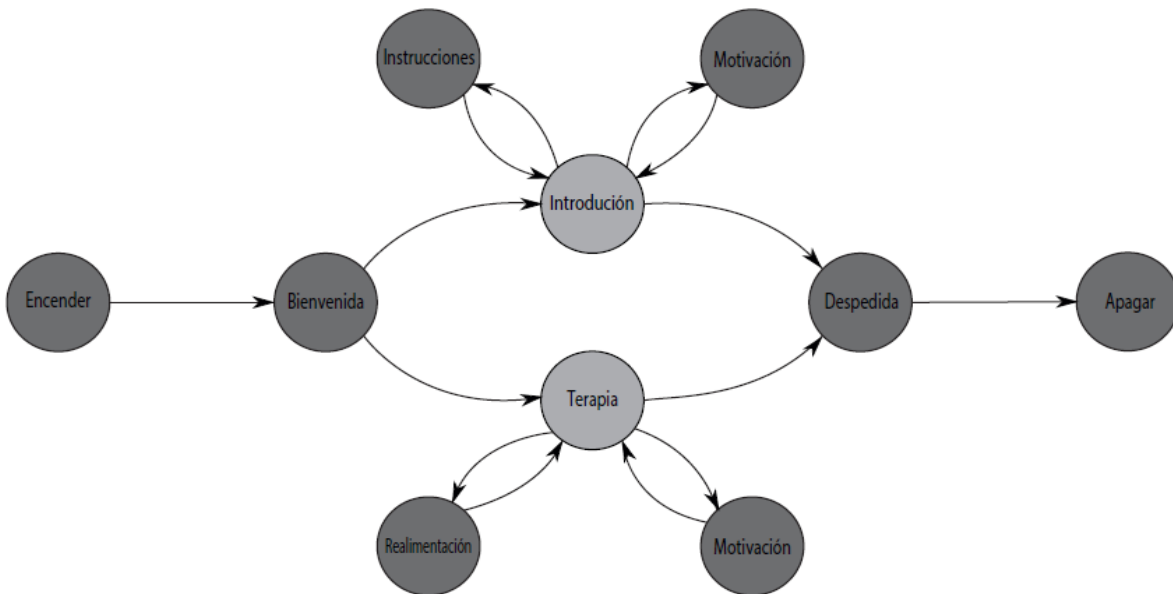


Figura 11. Máquina de estados

Tabla 4. Respuestas del robot a cada estado

Estado	Respuesta del robot
Bienvenida	“Hola mi nombre es NAO, soy un robot, puedo hablar y puedo caminar. Ahora preséntate”
Instrucciones	“¿Cuál es tu nombre/Edad/Actividad favorita?” “Te voy a enseñar como muevo mi (Parte del cuerpo), ¡mírame! Ahora, muéstrame tu (Parte del cuerpo)” “¿Qué animal es éste?”
Motivación	“¡Eso es, muy bien!” “Inténtalo de nuevo” “¡Eso es!” “Otra vez” “Tienes otro intento”
Realimentación	“Debes levantar más tu pierna derecha/izquierda”
Despedida	“Me encantó conocerte, nos vemos pronto”/ “Nos vemos en la próxima sesión”

Como se observa en la tabla 4, por cada estado el robot tiene una respuesta determinada, controlada por el operario de la interfaz. En el primer estado se da la bienvenida al participante, después dependiendo de la sesión que se vaya a realizar se dividen en dos partes. Para introducción se tiene dos estados: (1) Instrucciones: estas se dan en cada fase de la sesión, el robot le pide al niño que realice ciertas actividades, (2) motivación: se trata de fases que el robot menciona durante la sesión después de que el niño realiza la actividad, con el fin de felicitarlo si lo hizo bien o alentarle para que lo vuelva a intentar. Para la sesión de terapia se tienen de igual manera dos estados: (1) Realimentación: esta se da durante las sesiones en el Lokomat donde el robot le pedirá al niño que utilice más una pierna que la otra en instantes de tiempo determinados, (2) motivación: se trata de las mismas frases utilizadas en la sesión de introducción. Terminada la sesión el robot se despedirá del niño.

3.1.4.3 Choregraphe

Para las configuraciones del robot NAO se utilizó el software Choregraphe, este programa permite crear comportamientos del robot para posteriormente cargarlos a él.

La interfaz es estructurada y muy sencilla de usar (ver figura 12). Algunos movimientos vienen precargados en el programa y se agregan en el orden deseado para lograr un comportamiento completo (ver figura 13), sin embargo, si se quiere crear uno, se utilizan líneas de tiempo y con ayuda de los sensores del robot se puede obtener movimientos nuevos (ver figura 14). Todas estas herramientas se utilizaron para crear los comportamientos utilizados para los protocolos propuestos.

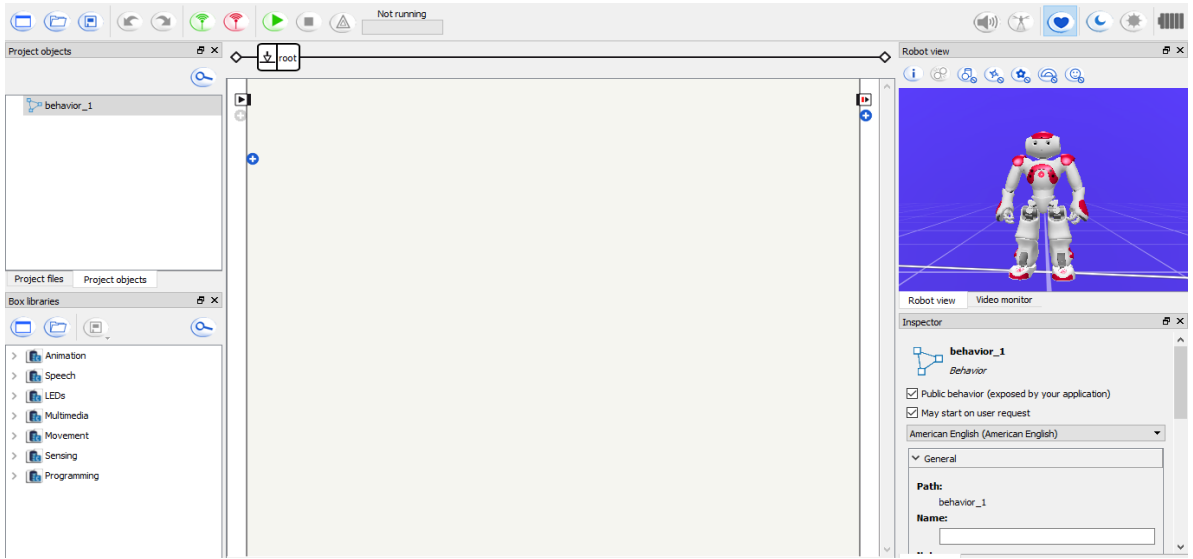


Figura 12. Interfaz Choregraphe

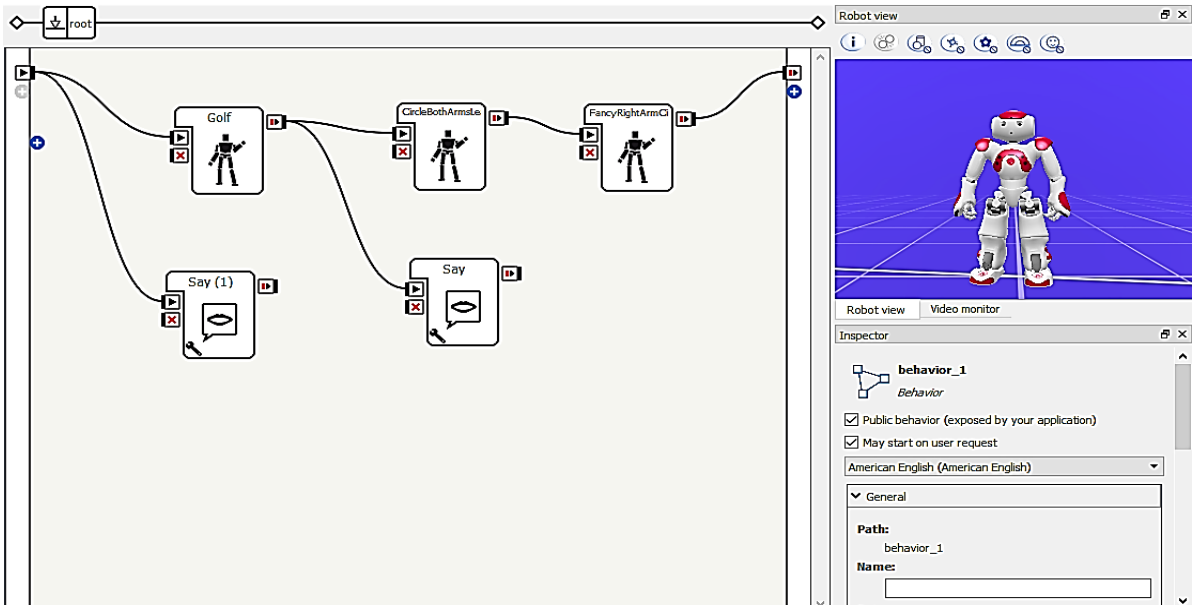


Figura 13. Comportamiento creado con movimientos precargados del software

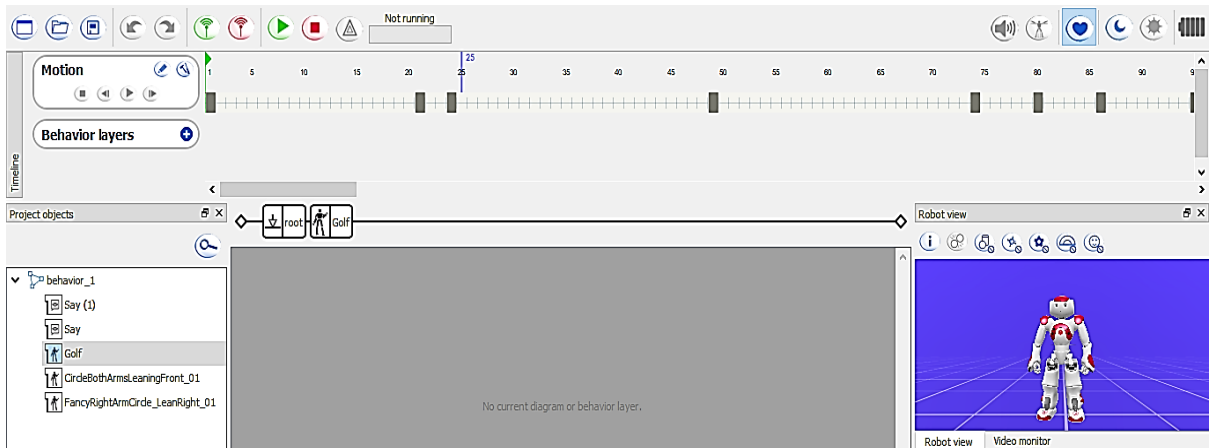


Figura 14. Comportamiento creado por medio de línea de tiempo

3.2. Protocolo de interacción robótica

Teniendo en cuenta la información presentada en el estado del arte se creó inicialmente un protocolo de interacción en el que se desea implementar un robot social para una única sesión con niños que presentan parálisis cerebral en un espacio seguro y controlado. Todo esto con la intención de determinar si las instrucciones dadas por el robot son entendidas y seguidas por niño, si el volumen usado es el correcto y que el niño reconozca correctamente partes del cuerpo.

Para este estudio se tuvieron en cuenta criterios de elegibilidad, todos los acudientes y/o tutores legales de los niños firmaron un consentimiento informado otorgando el permiso de participación y el manejo de los datos (Anexo 1).

3.2.1 Criterios de inclusión

Niños con parálisis cerebral, que reconozcan sus partes del cuerpo, que su sesión de terapia incluya el sistema de rehabilitación Lokomat y que obtengan el consentimiento informado por parte de su representante legal/acudiente.

3.2.2 Criterios de exclusión

Niños con algún déficit de audición y/o visión, que no tengan control para sostener su tronco y niños con algún otro tipo de discapacidad física no asociada a PC.

3.2.3 Participantes

Teniendo en cuenta los criterios anteriormente mencionados, participaron un total de 10 niños entre los 5 y 15 años ($9,5 \pm 4,09$) de la clínica Goleman, todos ellos diagnosticados con parálisis cerebral, los datos de estos se presentan en la tabla 5.

Tabla 5. Información general de los participantes en el protocolo.

No	Edad	Género
1	5	Hombre
2	10	Hombre
3	6	Hombre
4	15	Hombre
5	5	Hombre
6	9	Mujer
7	14	Hombre
8	14	Hombre
9	5	Mujer
10	12	Hombre

3.2.4 Escenario experimental

Para este protocolo se organizó el escenario de la sesión como se muestra en la figura 15.

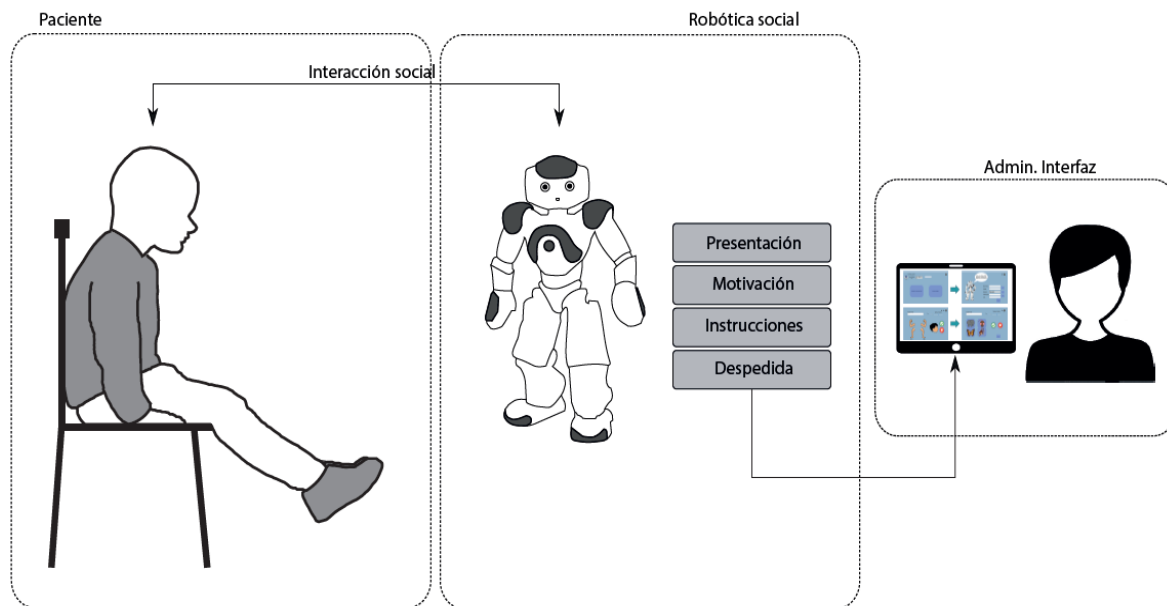


Figura 15. Escenario experimental de sesión de introducción

Se sentó al niño frente al robot aproximadamente a un metro de él, el robot durante la sesión de introducción se presentará, dará instrucciones al niño en todas las actividades y lo motivará a participar.

3.2.5 Intervención desarrollada

Las tareas por realizar por los niños durante la sesión de interacción con el robot NAO se especifican en la tabla 6.

Tabla 6. Protocolo de tareas

Actividad	Indicaciones	Estímulo previo (Ep)	Respuesta aceptable (Ra)	Estímulo consecuente (Ec) ^a	
				Ra = Esperada	Ra ≠ Esperada
Introducción	Hablar + movimiento + mirar al niño	- <i>Hola mi nombre es NAO, soy un robot, puedo hablar y puedo caminar. Ahora preséntate</i>	- El niño mira al robot	- Continúa	- Repite una vez y continúa
Tarea 1	Hablar + movimiento + mirar al niño	- <i>Cuál es tu nombre?</i>	- El niño responde con su nombre	- Continúa	- Repite hasta tres veces y continúa
		- <i>Cuál es tu edad?</i>	- El niño responde con su edad o enseña el número con sus manos	- Continúa	- Repite hasta tres veces y continúa
		- <i>Cuál es tu actividad favorita?</i>	- El niño responde con su actividad favorita	- Continúa	- Repite hasta tres veces y continúa
Tarea 2	Hablar + movimiento + mirar	- <i>¡Te voy a enseñar como muevo mi brazo derecho, mírame! Ahora, muéstrame tu brazo derecho</i>	- El niño señala o mueve su brazo derecho	- <i>¡Eso es, muy bien!</i> Agita el brazo	- <i>Inténtalo de nuevo.</i> Repite hasta tres veces y continúa
		- <i>¡Te voy a enseñar como muevo mi brazo izquierdo, mírame! Ahora, muéstrame tu brazo izquierdo</i>	- El niño señala o mueve su brazo izquierdo	- <i>¡Eso es!</i> Agita el brazo	- <i>Otra vez.</i> Repite hasta tres veces y continúa
		- <i>¡Te voy a enseñar como muevo mi pierna izquierda,</i>	- El niño señala o mueve su	- Asiente con la cabeza	- <i>Tienes otro intento.</i> Repite hasta

			<i>mírame! Ahora, muéstrame tu pierna izquierda</i>	pierna izquierda			tres veces y continúa
			<i>- ¡Te voy a enseñar como muevo mi pierna derecha, mírame! Ahora, muéstrame tu pierna derecha</i>	- El niño señala o mueve su pierna derecha	- ¡Eso es, muy bien!	Agita el brazo	- <i>Inténtalo de nuevo.</i> Repite hasta tres veces y continúa
			<i>- ¡Te voy a enseñar como muevo mi cabeza, mírame! Ahora, muéstrame tu cabeza</i>	- El niño señala o mueve su cabeza	- ¡Eso es!	Agita el brazo	- <i>Otra vez.</i> Repite hasta tres veces y continúa
Tarea 3	Hablar imitar mirar	+ +	<i>- ¿Qué animal es éste? Imita al elefante</i>	- El niño responde con el nombre del animal o lo imita	- ¡Eso es, muy bien!	Agita el brazo	- <i>Inténtalo de nuevo.</i> Repite hasta tres veces y continúa
			<i>- ¿Qué animal es éste? Imita al gorila</i>	- El niño responde con el nombre del animal o lo imita	- ¡Eso es!	Agita el brazo	- <i>Otra vez.</i> Repite hasta tres veces y continúa
			<i>- ¿Qué animal es éste? Imita a la mariposa</i>	- El niño responde con el nombre del animal o lo imita	- Asiente con la cabeza		- <i>Tienes otro intento.</i> Repite hasta tres veces y continúa
Despedida	Hablar mirar al niño	+ +	<i>- Me encantó conocerte, nos vemos pronto</i>	- El niño se despide verbalmente o realiza un gesto de despedida	- Se despide con el brazo		- Se despide con el brazo

a Aleatorio para cada niño

Para cada fase de la sesión se tiene una instrucción específica que es expresada por el robot hacia el niño, por cada una de estas instrucciones se tiene una respuesta esperada, cuando esta se obtiene el robot sigue con la siguiente fase y/o da una frase de motivación, si la respuesta recibida no es la esperada, el robot repite la instrucción un máximo de tres veces y alienta al niño para hacerlo mejor. Por último, se despide y se da por finalizada la sesión.

3.2.6 Puntajes asignados por tarea

Teniendo en cuenta las diferentes tareas que se le piden al niño, cada una de ellas se le asignó un puntaje correspondiente a el número de veces que se tiene que repetir la instrucción antes de que sea ejecutada por el niño (ver tabla 7). El puntaje máximo que suma todas las fases de la sesión de introducción es de 33 puntos.

Tabla 7. Puntajes de las intervenciones realizadas

Acción	Puntaje
Tarea 1 (9) - Mencionar Nombre, edad, actividad	3 El niño responde después del primer llamado del robot
	2 El niño responde después del segundo llamado del robot
	1 El niño responde después del tercer llamado del robot
	0 El niño no responde
Tarea 2 (15) - Señalar partes del cuerpo	3 El niño señala después del primer llamado del robot
	2 El niño señala después del segundo llamado del robot
	1 El niño señala después del tercer llamado del robot
	0 El niño no señala
Tarea 3 (9) - Adivinar/Imitar animales	3 El niño adivina o imita después del primer llamado del robot
	2 El niño adivina o imita después del segundo llamado del robot
	1 El niño adivina o imita después del tercer llamado del robot
	0 El niño no adivina o imita

3.2.7 Variable medidas

Teniendo en cuenta los videos que se tomaron a los participantes durante la sesión de introducción se separaron tres variables importantes:

- Niño (%): Porcentaje de tiempo durante la sesión en el que el niño responde a las instrucciones del robot

- Robot (%): Porcentaje de tiempo durante la sesión en el que el robot habla y da las instrucciones.
- Atención al robot (AR) (%): Porcentaje de tiempo durante la sesión en el que el niño mira al robot por más de 3 segundos.

3.2.8 Prueba estadística

Teniendo en cuenta que solo se tiene un grupo de participantes y centrándose en la atención de los niños hacia el robot en la sesión, esta se dividió en inicio y fin (mitad y mitad). Para el análisis de estos datos se debe aplicar una prueba de hipótesis.

Una prueba de hipótesis examina dos hipótesis opuestas sobre una población: la hipótesis nula y la hipótesis alternativa [78]. La hipótesis nula, denotada como H_0 es lo que queremos desacreditar. La hipótesis alternativa, denotada como H_1 es la que responde la pregunta, la que se establece en base a la evidencia que se tiene [79].

El nivel de significancia (α), es la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando es verdadera, es el riesgo que se asume de concluir que existe una diferencia cuando no la hay. El valor más común para alfa es de 0.05 [80].

Un valor p (valor de probabilidad) es una medición estadística entre 0 y 1, usada para contrastar las hipótesis. Un resultado es estadísticamente significativo (que permite rechazar la hipótesis nula) si se corresponde con un valor p igual o inferior al nivel de significancia, $p \leq 0,05$ [81].

3.3. Protocolo para la integración de un robot social y sensores de EMG para niños que presentan PC y realizan entrenamiento de marcha con Lokomat

Después de terminado el primer protocolo se procede a diseñar un boceto del protocolo clínico. En este protocolo se busca integrar la robótica social y sensores de electromiografía en las sesiones de terapias de rehabilitación de marcha asistida por Lokomat para niños con parálisis cerebral de la Clínica Goleman.

3.3.1 Criterios de inclusión

Niños con parálisis cerebral, que su sesión de terapia incluya el sistema robótico de rehabilitación Lokomat, que hayan participado previamente en el "*Protocolo de interacción robótica para niños que presentan PC y realizan entrenamiento de marcha con Lokomat*" y que obtengan el consentimiento informado por parte de su representante legal/acudiente.

3.3.2 Criterios de exclusión

Niños con algún déficit de audición y/o visión, que no tengan control para sostener su tronco, que su terapia de rehabilitación no incluya el dispositivo Lokomat y niños con algún otro tipo de discapacidad física no asociada a PC.

3.3.3 Procedimiento experimental

Para este protocolo se tiene el objetivo de que con ayuda de la interfaz de usuario se pueda integrar la robótica social y los sensores de electromiografía en las sesiones de rehabilitación de marcha asistida por Lokomat. El robot social NAO ayudará a los niños con parálisis cerebral a partir de la realimentación positiva en tiempo real con respecto a sus miembros inferiores, indicándole cuando deba utilizar más una pierna que la otra y motivacionales durante el desempeño de las sesiones y a su vez colaborará con los terapeutas con el objetivo de reducir sus tareas.

3.3.4 Escenario experimental

El objetivo de este escenario es que mientras el participante esté en la sesión de terapia con el Lokomat, el robot se posicione a la altura de su cara con el fin de que se vea de frente y no se generen malas posturas. El robot estará activo durante toda la sesión, motivando al niño cuando su desempeño sea el deseado y realimentando sus movimientos cuando sea necesario, durante toda la sesión el fisioterapeuta estará presente guiando igualmente la terapia (ver figura 6). Se proponen inicialmente 15 sesiones para este protocolo.

4. RESULTADOS

En esta sesión se presentan los resultados la primera versión de la interfaz de usuario y del protocolo de interacción robótica realizado en la clínica Goleman.

4.1. Interfaz

De acuerdo con la arquitectura (ver figura 6), se crearon diferentes ventanas que cumplen con el flujo mostrado anteriormente y que satisfacen los requerimientos. Estas se muestran a continuación.

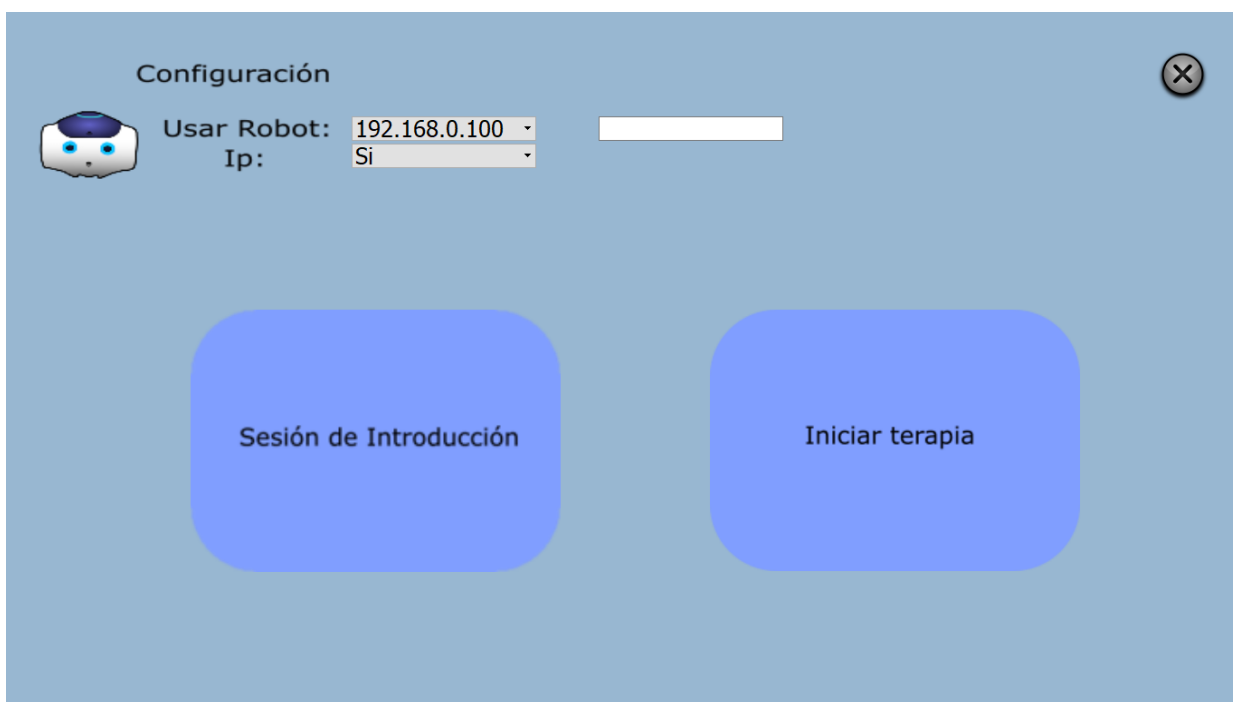


Figura 16. Menú principal

La figura 16 muestra la primera ventana donde se permite ingresar por medio de texto, la dirección IP del robot NAO que se desea utilizar para las sesiones, además, se tiene la opción de elegir cuál de las sesiones se va a trabajar.

4.1.1 Sesión de introducción

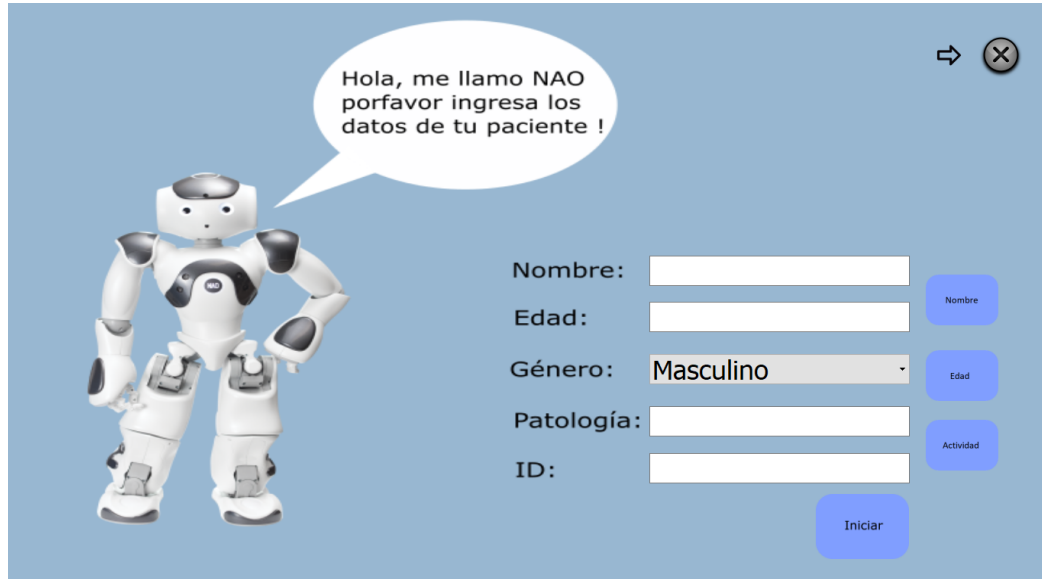


Figura 17. Presentación

En ventana de la figura 17 se tiene un registro del participante y un botón que permite iniciar con la presentación del robot al niño, se permite también comenzar con la primera tarea referente a la presentación del niño.

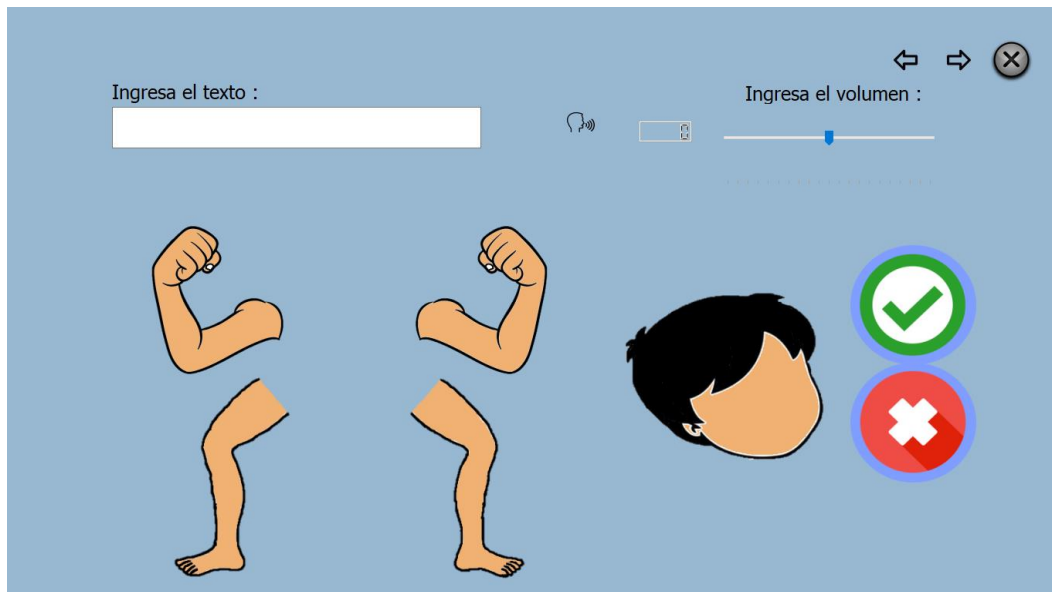


Figura 18. Partes del cuerpo

En la ventana de la figura 18 se tienen diferentes botones que activan movimientos del robot el cual le pedirá al niño que señale sus partes del cuerpo después de que él lo haga, adicionalmente hay botones que permiten motivar al niño cuando realiza correctamente la actividad y animarlo a intentarlo nuevamente cuando no lo logra.

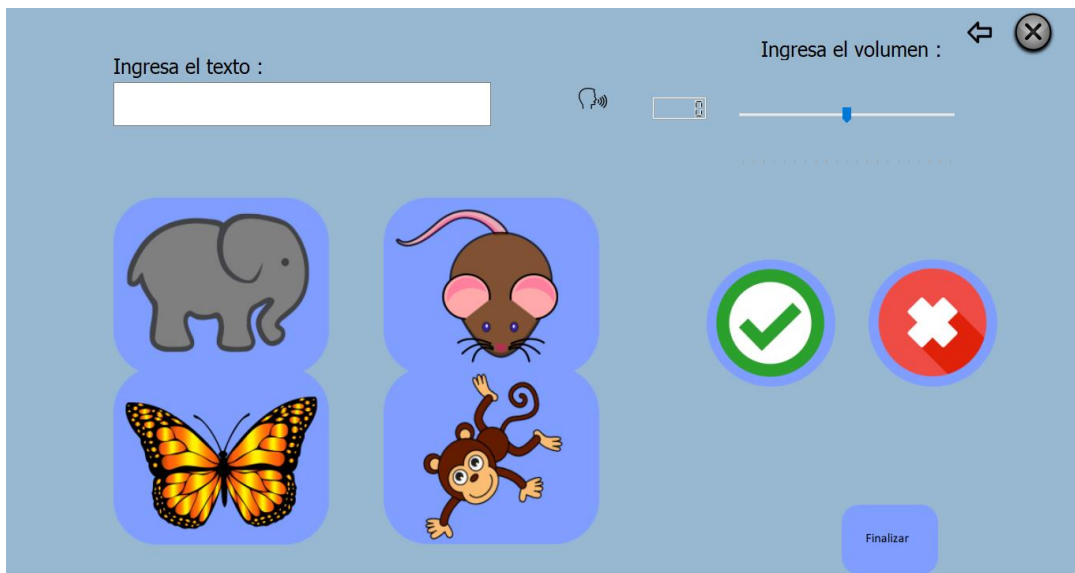


Figura 19. Imitación

En la ventana de la figura 19 los botones permiten activar los comportamientos del robot para que este imite a los animales que se muestran y le pregunte a niño el animal que es, se tiene también los botones para motivar al niño cuando realiza correctamente la actividad y animarlo a intentarlo nuevamente cuando no lo logra, contiene un botón que finaliza la sesión con la despedida del robot hacia el niño.

Todas las ventanas tienen botones para retornar a las ventanas anteriores o para continuar a la siguiente, además de la posibilidad de graduar el volumen del robot y una entrada de texto para que el robot reproduzca lo que ahí se escribe.

4.1.2 Sesión de terapia

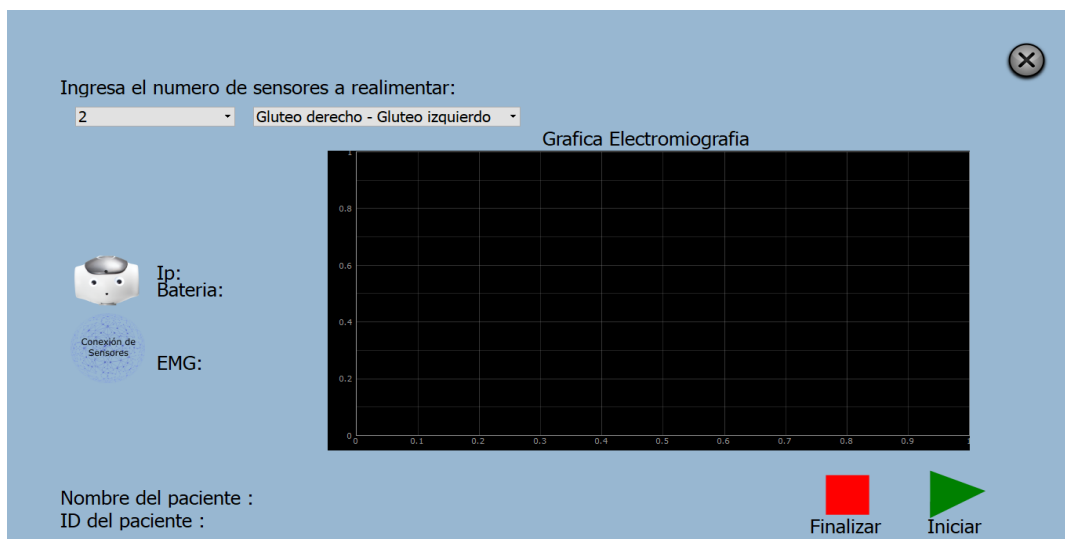


Figura 20. Ventana de terapia

En la ventana de la figura 20 se puede observar en tiempo real la señal de EMG de los músculos que se están realimentando en la sesión. Además, se puede elegir el número de músculos que se van a realimentar y cuál de ellos serán.

4.2. Protocolo de interacción robótica

Todas las sesiones de este protocolo fueron filmadas, los padres y/o representantes legales dieron el consentimiento firmado para el video (ver figura 21).

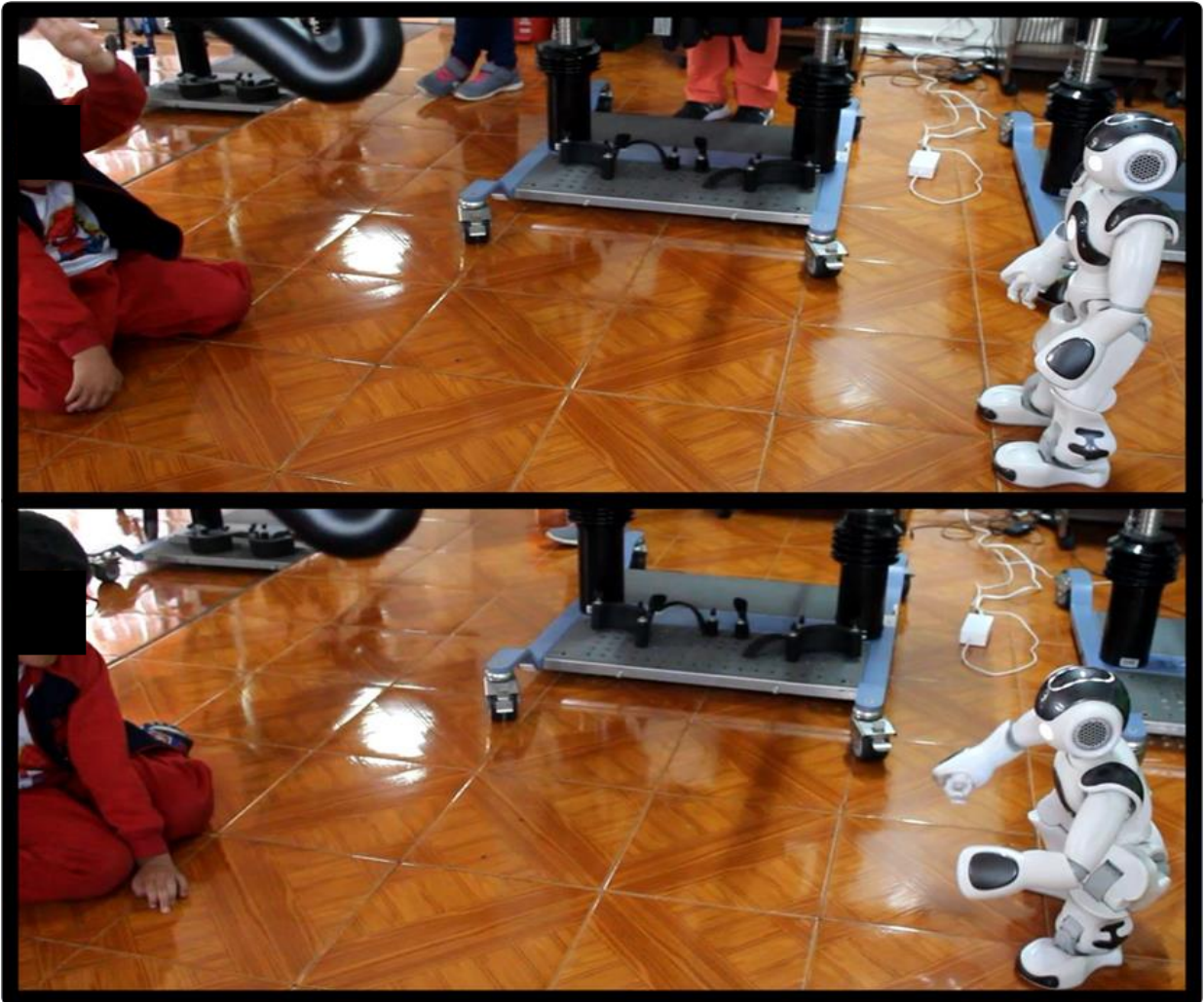


Figura 21. Escenario del protocolo de introducción

Los videos se analizaron en una plataforma digital llamada ELAN, en esta es posible marcar eventos y cuantificarlos porcentualmente (ver figura 22), este procedimiento se realizó de igual manera para los 10 participantes (ver figura 23), con la ayuda de esta herramienta se extrajeron las variables antes mencionadas (Niño, Robot, AR). Adicionalmente, cada participante obtuvo un puntaje asociado a desempeño durante la realización de las tareas en

la sesión, este puntaje tiene un máximo de 33 puntos. Los resultados de estas variables se presentan en la tabla 8.

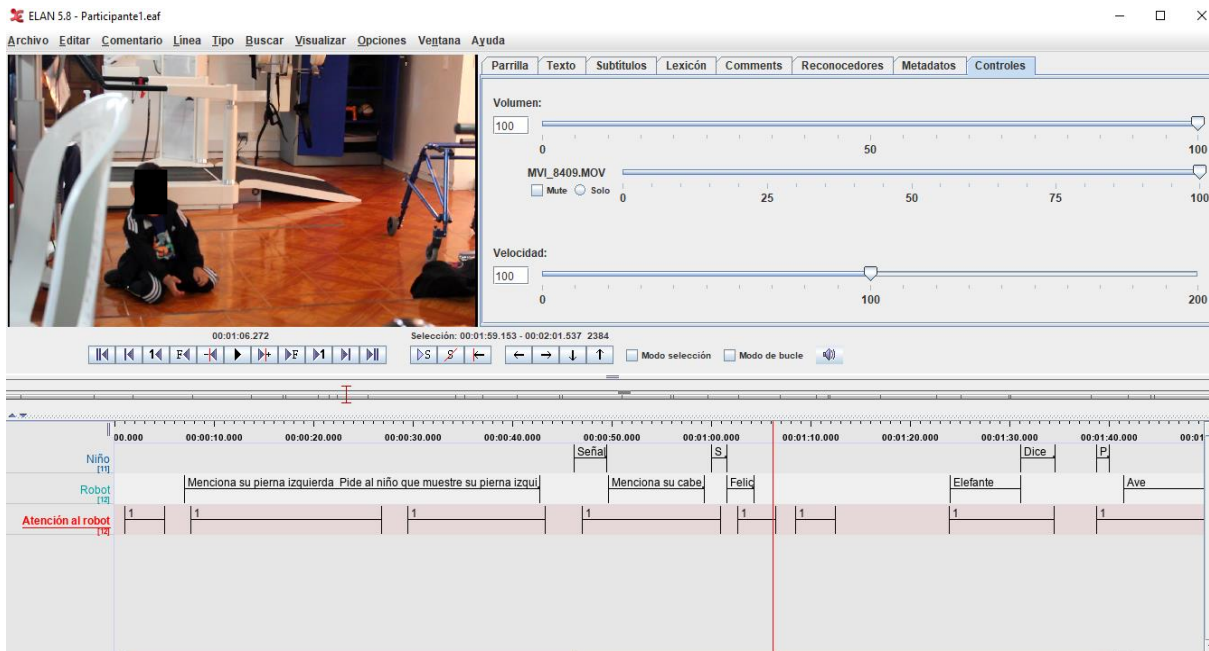


Figura 22. Análisis de videos a través de la interfaz ELAN

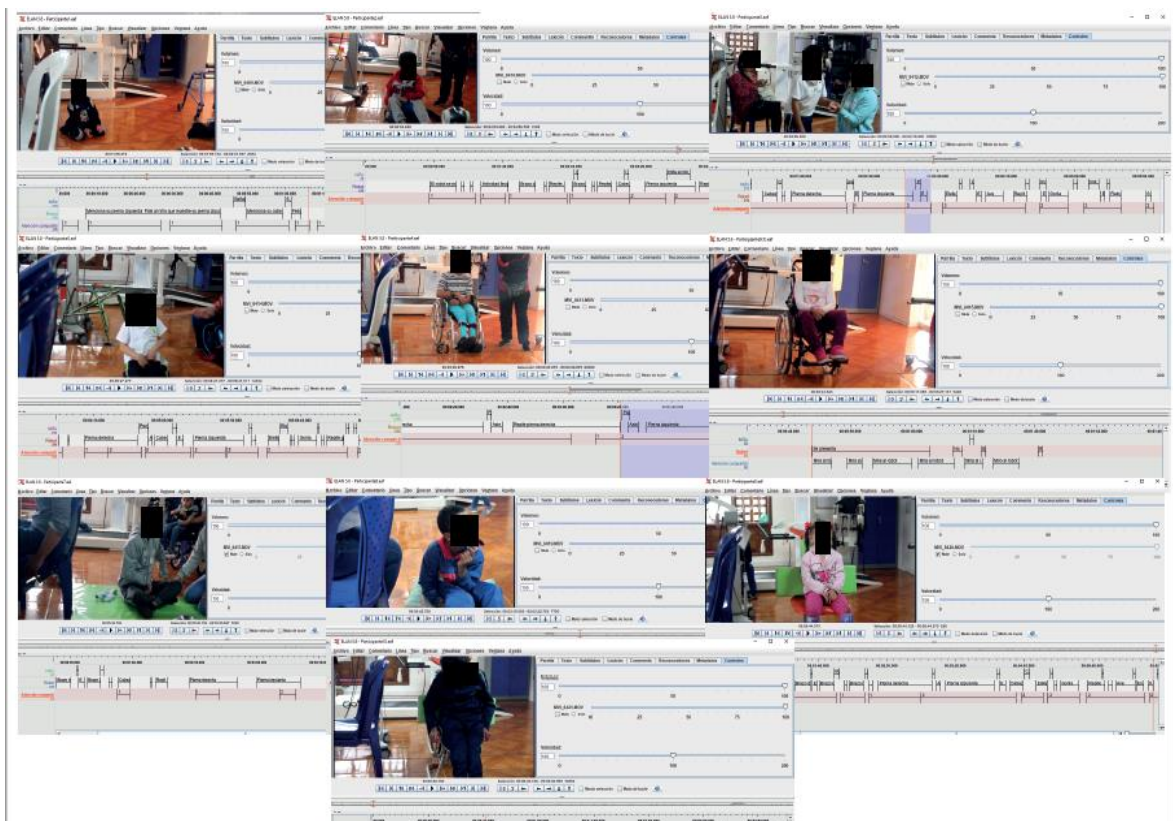


Figura 23. Análisis de videos de los 10 participantes a través de la interfaz ELAN

Tabla 8. Resultados del protocolo de introducción

No	Puntaje (Max. 33)	Niño (%)	Robot (%)	AR (%)
1	31	10,91	51,22	76,09
2	6	15,20	60,85	72,72
3	28	10,75	50,48	72,62
4	30	7,00	68,97	84,98
5	28	11,70	53,22	81,74
6	10*	2,08	25,36	24,43
7	4	1,14	56,21	19,74
8	28	8,02	61,38	91,21
9	30	7,00	68,01	84,38
10	17	3,78	55,89	82,71
<i>Promedio</i>	<i>22,44</i>	<i>7,76</i>	<i>55,16</i>	<i>69,06</i>
<i>Desviación estándar</i>	<i>10,73</i>	<i>4,51</i>	<i>12,28</i>	<i>25,44</i>
<i>Coefficiente de variación</i>	<i>48%</i>	<i>58</i>	<i>22</i>	<i>37</i>

* No terminó la sesión

Se registraron los porcentajes de contacto visual al robot en estas dos partes de la sesión de introducción (inicio y fin), los resultados se observan en la tabla 9.

Tabla 9. Porcentajes de atención al robot al inicio y al final de la sesión

No	Inicio (AR)	Fin (AR)
1	73,70%	78,47%
2	71,53%	73,92%
3	73,00%	72,00%
4	76,33%	93,63%
5	78,55%	84,93%
6*	28,96%	68,64%
7	22,87%	16,61%
8	88,32%	94,10%
9	78,40%	90,35%
10	82,40%	83,01%
<i>Promedio</i>	<i>67,41%</i>	<i>75,58%</i>
<i>Desviación estándar</i>	<i>22%</i>	<i>23%</i>
<i>Coefficiente de variación</i>	<i>33%</i>	<i>30%</i>

* No terminó la sesión

Se realizó una prueba estadística, se procedió primero a realizar una prueba de normalidad de las variables "Inicio" y "Fin". Partiendo de las siguientes hipótesis.

Para la variable *Inicio*:

H_0 = La variable presenta una distribución normal
 H_1 = La variable NO presenta una distribución normal

Para la variable *Fin*:

H_0 = La variable presenta una distribución normal
 H_1 = La variable NO presenta una distribución normal

Teniendo en cuenta que la población que se tiene es menos a 30 participantes, se realizó una prueba Shapiro-Wilk, tomando como nivel de significancia el 5%, los resultados de esta prueba se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. Resultado de la prueba de normalidad

	gl	p-valor
Inicio	10	,002
Fin	10	,003

De acuerdo con estos resultados se puede observar que el p-valor de ambas variables es menor a 0,05 por lo que se rechaza la hipótesis nula en ambos casos, por lo tanto, ninguna de las variables presenta una distribución normal. Ahora bien, con este resultado se sabe que se debe realizar una prueba no paramétrica, en este caso se desean comparar dos muestras relacionadas ya que se están comparando el niño consigo mismo en dos instantes diferentes. Partiendo de esto se realizó una prueba Wilcoxon para muestras relacionadas, teniendo en cuenta las siguientes hipótesis:

H_0 = NO hay diferencias significativas entre la atención al robot al inicio y al final de la sesión
 H_1 = Hay diferencias significativas entre la atención al robot al inicio y al final de la sesión

Los resultados de esta prueba muestran un p-valor de 0,047 el cual es menor al nivel de significancia de 0,05, esto quiere decir que se rechaza la hipótesis nula. Es decir, hay diferencias significativas entre la atención al robot al inicio y al final de la sesión.

4.3. Protocolo clínico

Se diseñó un diagrama de flujo experimental de lo que se espera realizar en la terapia de rehabilitación de marcha asistida por Lokomat, cuando este se ponga en práctica en la clínica (ver figura 24).

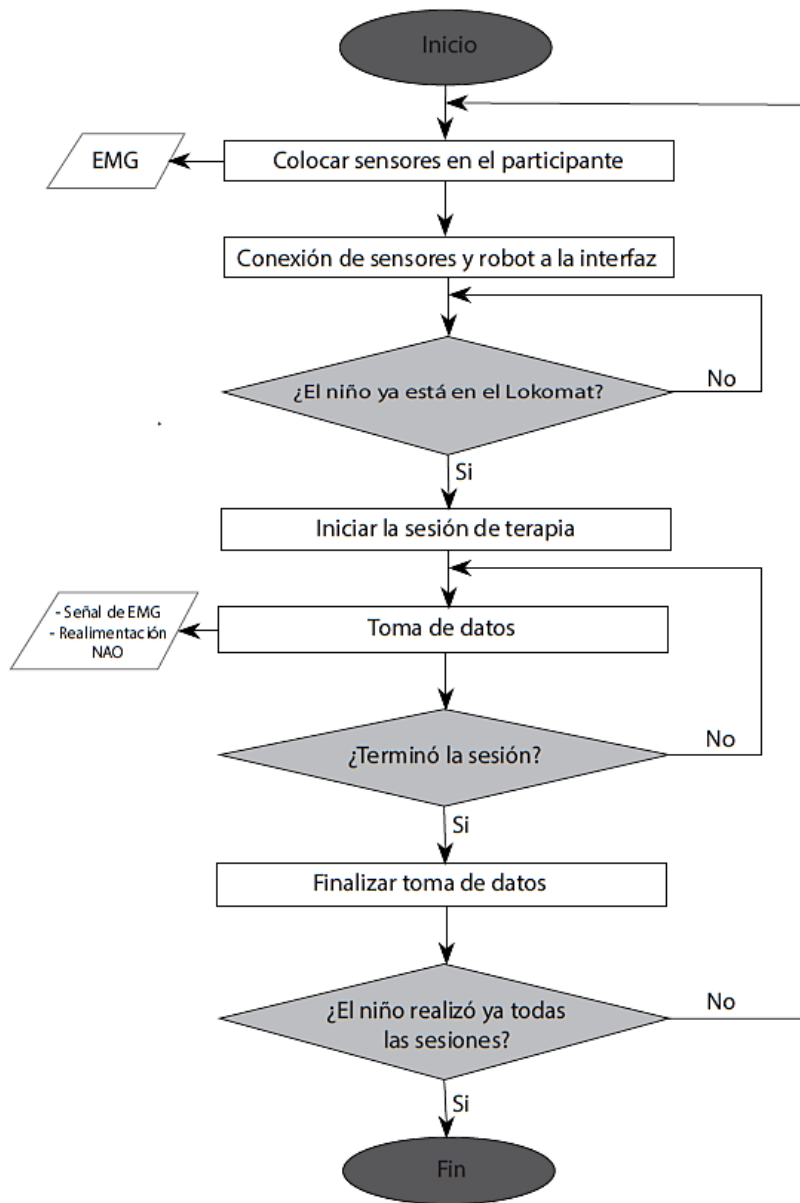


Figure 24. Diagrama de flujo del protocolo clínico

La figura 24 describe a grandes rasgos el procedimiento que se espera llevar a cabo con este protocolo. Se comienza con la colocación de sensores al niño en los músculos principales que participan en la marcha antes y se revisa que estos estén conectados a la interfaz, así como al robot. Luego de esto el terapeuta a cargo de la sesión realizará el montaje del niño al Lokomat y se procederá a iniciar la sesión. Los datos de los sensores de EMG serán enviados por bluetooth al robot y este realimentará al niño cuando sea necesario, adicionalmente el robot proporcionará frases de motivación durante la sesión. Después de terminada la sesión se guardarán los datos obtenidos y se anotará si el niño ya terminó todas las sesiones o no y se tomará registro de ello (Ver anexo 2).

El operario de la interfaz gráfica estará presente durante toda la sesión observando la señal de EMG como se muestra en la figura 25.

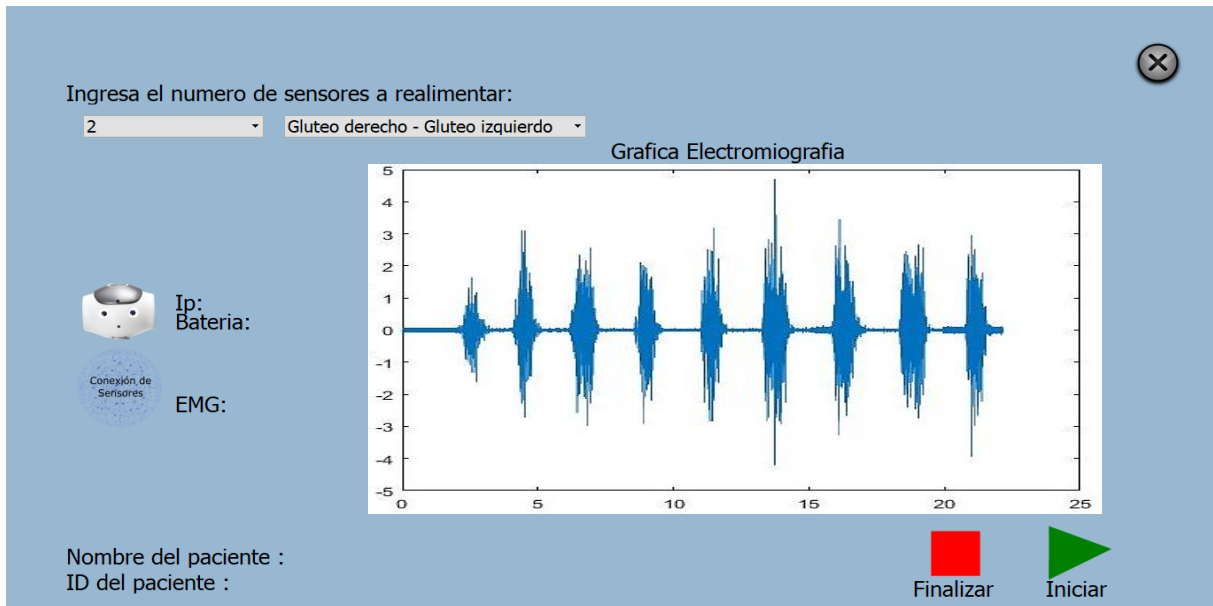


Figura 25. Señal de EMG en la interfaz gráfica.

5. DISCUSIÓN

Para mejorar las condiciones de discapacidad de los niños con parálisis cerebral se realizan tratamientos de rehabilitación física y cognitiva. Estas sesiones pueden darse con apoyo de fisioterapeutas, exoesqueletos, órtesis, robots, entre otros. Todos éstos con el mismo fin, mejorar el movimiento y llevarlo a su máximo nivel de desempeño físico para que la persona con discapacidad, en este caso el niño con parálisis cerebral pueda recuperar su autonomía.

En relación con los datos obtenidos del protocolo de interacción, se puede observar en la tabla 8 que el robot tiene una participación en un 55% de la sesión y el niño solo un 8% aproximadamente. De acuerdo con diferentes estudios, la medición de la atención durante la interacción humano-robot es clave para medir la efectividad de la interacción robótica en la terapia [13], en este estudio se observa que la atención al robot por parte del niño es mayor a un 69%, la atención se facilita por las características atractivas y la visibilidad del robot [57]. Otro aspecto importante es que 7 de los 10 niños participantes realizaron correctamente más de la mitad de las actividades que se llevaron a cabo en la sesión, esto es importante tenerlo en cuenta para el protocolo clínico que se desea implementar ya que los niños podrán seguir las instrucciones que el robot les brinde cuando este logre realimentar con ayuda de las señales de electromiografía.

En cuando a la división de las sesiones en inicio y fin con la intención de comparar al niño consigo mismo, de acuerdo con la tabla 9 se puede observar que la atención al robot en términos generales tiene un incremento del 10% entre la primera y segunda parte de la sesión. Analizando los resultados de la prueba estadística, se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, se puede decir que hay diferencias significativas entre el porcentaje de atención de los niños al robot entre el inicio y el final de la sesión de interacción robótica. Por lo anterior se entiende que el robot mejora la atención del niño durante la terapia y esto conlleva a que su desempeño durante la misma mejore también [55].

El desempeño del robot fue satisfactorio en todas las sesiones de introducción, estuvo activo durante los 15 min de la sesión sin ningún inconveniente y llevó a cabo sus comportamientos de la manera en que estos fueron diseñados sin ningún tipo de cambio. Sin embargo, los movimientos de sus miembros no son tan fluidos como los del miembro humano movimientos, la flexibilidad y los grados del miembro de libertad limitados producen gestos menos precisos movimientos, y en ocasiones su vocalización es difícil de entender tanto para el niño como para el terapeuta [56].

Con el diseño y desarrollo de la interfaz, se tiene una aplicación de fácil uso para administrar las sesiones que se estén ejecutando de una forma sencilla y práctica, también será posible integrar la robótica social en terapias de rehabilitación de marcha con el dispositivo robótico Lokomat y monitorear los principales músculos que participan en la marcha. El protocolo clínico que se propone en este trabajo se espera integrar en la clínica Goleman.

6. CONCLUSIONES

- 1) Se desarrolló y llevo a cabo el protocolo de interacción robótica basado en diferentes diseños experimentales de publicaciones realizadas anteriormente en la clínica Goleman todo con el fin de determinar si los niños con parálisis cerebral que realizan entrenamiento de marcha con Lokomat si son capaces de comprender y seguir instrucciones proporcionadas por el robot social NAO. Observando que 8 de los 10 niños participantes del estudio, entienden y acatan las instrucciones del robot, así como logró mantener la atención de los niños durante aproximadamente 70% de la sesión.
- 2) El hecho de que los movimientos del robot NAO puedan ser repetitivos y controlados ayuda a que el comportamiento sea un poco más natural y se genere una comunicación continua con el niño. Sin embargo, debido a las limitaciones de movimiento que tiene el robot y la falta de expresiones faciales, algunos comportamientos son difíciles de entender para el niño.
- 3) El desarrollo de la interfaz de usuario cumple con los requerimientos necesarios para ser utilizada en las sesiones de introducción y terapia permite la fácil integración de ventanas, es amigable y de sencillo entendimiento y se adaptó a la población infantil.
- 4) Para el trabajo en la clínica se contó con el apoyo de un grupo interdisciplinario de terapeutas y personas administrativo que hizo posible toda la realización de las sesiones con los niños y la comunicación con sus respectivos tutores legales.
- 5) Se integró la adquisición de señales de EMG en la interfaz de terapia con el fin de poder obtener las señales de los músculos principales involucrados en la marcha y poder realimentar al niño durante la sesión para mejorar su marcha.

7. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

7.1. Recomendaciones

Para mejorar el entendimiento de los movimientos del robot, estos podrían diseñarse de tal manera que se lleven a cabo de forma lenta, con ayuda de sonidos asociados al comportamiento que está realizando, con esto se hace más fácil la comprensión del robot para el niño.

7.2. Trabajos futuros

A corto plazo, para una segunda versión del protocolo se podría implementar un grupo control en el que los niños no tengan al robot y solo sea el terapeuta dando la instrucción, con esto se podría comparar con el grupo de estudio, realizar análisis estadísticos independientes y obtener unos nuevos resultados que muestren nuevas conclusiones.

A mediano plazo, se espera completar el desarrollo del protocolo clínico y estructurándolo de la misma forma que el protocolo de interacción robótica.

A largo plazo, para complementar este trabajo se espera llevar a cabo el protocolo a largo plazo con los niños que presentan parálisis cerebral en la clínica Goleman, donde ya se implementen los sensores de electromiografía y se observe el efecto de la robótica social en estas sesiones de rehabilitación, además de confirmar que el robot genera una motivación mayor para la asistencia a estas sesiones y además en un foco de atención para los niños durante la misma. Se propone que el robot corrija al niño cuando la activación del musculo se de en una fase de marcha incorrecta y que lo ayude a mejorar la marcha. Además de ser una forma de cuantificar el desempeño en las terapias adicional a una perspectiva cualitativa que pueda proporcionar el terapeuta.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Collado, H. (2013). *Situación Mundial de la Discapacidad*. Tegucigalpa, Honduras: Universidad Nacional Autónoma de Honduras.
- [2] Organización Mundial de la Salud. (2011). *Informe mundial sobre la discapacidad*. OMS.
- [3] Alva, M. F. (2011). *Las personas con discapacidad en América Latina: del reconocimiento jurídico a la desigualdad real*. Santiago de Chile, Chile.
- [4] Bueno, L. C. (2006). *Aproximación a la realidad de las personas con discapacidad en Latinoamérica*. Madrid, España. Comité Español de Representantes de Personas con Discapacidad.
- [5] The World Bank. (2004). *Disabilities in Latin America and the Caribbean*. TWB.
- [6] Muñoz, J. A. (2020). *Las tic's y la inclusión social. reflexiones jurídicas frente a personas en situación de discapacidad en colombia*. Cali, Colombia
- [7] Sida. (2014). *Disability Rights in Colombia*. Colombia
- [8] Centers for Disease Control and Prevention. (2008). *Data and Statistics for Cerebral Palsy*. Obtenido de CDC: <https://www.cdc.gov/ncbddd/cp/data.html>
- [9] Poinsett, P. M. (2019). *Cerebral Palsy Prevalence and Incidence*. Obtenido de Cerebral Palsy Guidance: <https://www.cerebralpalsyguidance.com/cerebral-palsy/research/prevalence-and-incidence/>
- [10] Beckung , E., & Hagberg, G. (2002). Neuroimpairments, activity limitations, and participation restrictions in children with cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology*.
- [11] Claridge, E., McPhee, P., Timmons, B., Martin Ginis, K., Macdonald, M., & Gorter, J. (2015). Quantification of Physical Activity and Sedentary Time in Adults with Cerebral Palsy. *Medicine & Science in Sports & Exercise (MSSE)*.
- [12] Lepage, C., Noreau, L., & Bernard, P. (1998). Association between characteristics of locomotion and accomplishment of life habits in children with cerebral palsy. *Physical Therapy*.
- [13] Malik, N., Yussof, H., & Hanapiah, F. (2014). Development of Imitation Learning through Physical Therapy Using a Humanoid Robot. *Procedia Computer Science*.
- [14] Cook, A., Encarnação, P., & Adams, K. (2010). Robots: Assistive technologies for play, learning and cognitive development. *Technology and Disability*.
- [15] Buitrago, J., Bolaños, A., & Caicedo Bravo, E. (2020). A motor learning therapeutic intervention for a child with cerebral palsy through a social assistive robot. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*.
- [16] Malik , N., Yussofa, H., Hanapiahb, F., Abdul Rahman, R. A., & Basri, H. H. (2015). Human-Robot Interaction for Children with Cerebral Palsy: Reflection and Suggestion for Interactive Scenario Design. *Procedia Computer Science*.
- [17] Feil-Seifer, D., & Mataric, M. (2005). Defining socially assistive robotics. *IEEE*.
- [18] Malik, N., Yussof , H., & Hanapiah, F. A. (2016). Potential use of Social Assistive Robot based rehabilitation for children with Cerebral Palsy. *IEEE*.

- [19] Ramírez Duque, A., Bastos, T., Munera, M., Cifuentes, C. A., & Frizera-Neto, A. (2020). Robot-Assisted Intervention for children with special needs: A comparative assessment for autism screening. *Robotics and Autonomous Systems*.
- [20] Céspedes, N., Múnera, M., Gómez, C., & Cifuentes, C. A. (2020). Social Human-Robot Interaction for Gait Rehabilitation. *IEEE*.
- [21] Rahman, R., Hanapiah, F., & Basri, H. (2015). Use of Humanoid Robot in Children with Cerebral Palsy: The Ups and Downs in Clinical Experience. *Procedia Computer Science*.
- [22] Centers for Disease Control and Prevention. (s.f.). *What is Cerebral Palsy?* Obtenido de CDC: <https://www.cdc.gov/ncbddd/cp/facts.html>
- [23] National Institute of Neurological Disorders and Stroke. (2007). *Parálisis cerebral: Esperanza en la investigación*. Obtenido de NIH: <https://espanol.ninds.nih.gov/trastornos/paraliscerebral.htm>
- [24] Cerebral Palsy Alliance. (2015). *Signs and Symptoms of Cerebral Palsy*. Obtenido de Cerebral Palsy Alliance: <https://cerebralpalsy.org.au/our-research/about-cerebral-palsy/what-is-cerebral-palsy/signs-and-symptoms-of-cp/>
- [25] MyChild. (s.f.). *Signs and Symptoms of Cerebral Palsy*. Obtenido de cerebralpalsy.org: <https://www.cerebralpalsy.org/about-cerebral-palsy/sign-and-symptoms>
- [26] NHS. (2020). *Symptoms Cerebral palsy*. Obtenido de nhs.uk: <https://www.nhs.uk/conditions/cerebral-palsy/symptoms/>
- [27] Conza Cunyas, P. N. (2019). *Tipos de parálisis cerebral*. Obtenido de Medium: <https://medium.com/par%C3%A1liscerebral/tipos-de-par%C3%A1liscerebral-20afa8f33fcf>
- [28] National Institute of Child Health and Human Development. (2018). *¿Qué tipos de parálisis cerebral existen?* Obtenido de NIH: espanol.nichd.nih.gov/salud/temas/cerebral-palsy/informacion/tipos
- [29] Grupo de estudio de Enfermedades Cerebrovasculares de la SEN. (s.f.). *Trastornos motores*. Obtenido de ictus.sen.es: http://ictus.sen.es/?page_id=96
- [30] Argüelles, P. P. (2008). *Parálisis cerebral infantil*. Barcelona, España. Servicio de Neurología.
- [31] Asociación de familias de personas con parálisis cerebral. (s.f.). *La Parálisis Cerebral: Causas*. Obtenido de APAMP: http://www.apamp.org/causas_paraliscerebral.html
- [32] Reddihough, D., & Collins, K. (2003). The epidemiology and causes of cerebral palsy. *Australian Journal of Physiotherapy*.
- [33] Largaía, A., & Voto, L. (2000). *Parálisis cerebral "Rol del cuidado perinatal"*. Buenos Aires, Argentina.
- [34] Damiano, D. L. (2009). Rehabilitative Therapies in Cerebral Palsy: The Good, the Not As Good, and the Possible. *Journal of Child Neurology*.
- [35] Gage, J. R., Schwartz, M. H., Koop, S. E., & Novacheck, T. F. (2009). *The Identification and Treatment of Gait Problems in Cerebral Palsy*. Londres, UK. Clinics in Developmental Medicine.

- [36] Booth, A., Buizer, A., Meyns, P., Oude Lansink, I., Steenbrink, F., & Van der Krogt, M. (2018). The efficacy of functional gait training in children and young adults with cerebral palsy: a systematic review and meta-analysis. *Developmental Medicine & Child Neurology*.
- [37] Cifuentes, C. A., & Frizera, A. (2016). *Human-Robot Interaction Strategies for Walker-Assisted Locomotion*. Springer International Publishing Switzerland.
- [38] Shahid, S., Nandy, A., Mondal, S., Ahamad, M., Chakraborty, P., & Nandi, G. (2012). A study on human gait analysis. *Conference: Proceedings of the Second International Conference on Computational Science, Engineering and Information Technology*.
- [39] Protokinetics Team. (2018). *Understanding Phases of the Gait Cycle*. Obtenido de ProtoKinetics: <https://www.protokinetics.com/2018/11/28/understanding-phases-of-the-gait-cycle/>
- [40] Upadhyaya, S., & Lee, W.-S. (2013). Survey of Formal Methods of Hip Joint Center Calculation in Human Studies. *APCBEE Procedia*.
- [41] Laribi, M. A., & Zeghloul, S. (2019). Human lower limb operation tracking via motion capture systems. En M. Ceccarelli, & G. Carbone, *Design and Operation of Human Locomotion Systems* (págs. 83-107). Poitiers, Francia.
- [42] Inverarity, L. (2020). *The Gait Cycle in Physical Therapy*. Obtenido de verywellhealth: <https://www.verywellhealth.com/gait-meaning-and-cycles-2696126>
- [43] U.S. National Library of Medicine. (2016). *Walking Problems*. Obtenido de MedlinePlus: <https://medlineplus.gov/walkingproblems.html>
- [44] Calderone, L. (2019). *Robots Assisting with Physical Therapy*. Obtenido de Robotics Tomorrow: <https://www.roboticstomorrow.com/article/2019/11/robots-assisting-with-physical-therapy/14439>
- [45] Martin Moraud, E., Zitzewitz, J. V., Miehlsbradt, J., Wurth, S., Formento, E., DiGiovanna, J., Micera, S. (2018). Closed-loop control of trunk posture improves locomotion through the regulation of leg proprioceptive feedback after spinal cord injury. *Scientific Reports*.
- [46] Colombo, G., Joerg, M., Schreier, R., & Dietz, V. (2000). Treadmill training of paraplegic patients using a robotic orthosis. *Journal of Rehabilitation Research & Development*.
- [47] Romo, H. A., Realpe, J. C., & Jopoa, P. (2007). *Análisis de Señales EMG Superficiales y su Aplicación en Control de Prótesis de Mano*. Medellín, Colombia.
- [48] Alarcón Ramírez, J. A., Ruiz Cueva, L. E., & Tello Puerta, J. L. (2013). [64] *Diseño e implementación de un sistema de adquisición y procesamiento de señales mioeléctricas para el reconocimiento en tiempo real de la contracción de los bíceps y tríceps braquiales orientado a la manipulación de un brazo robótico de tres grados de libertad*. Lima, Perú.
- [49] Correa-Figueroa, J., Morales-Sánchez, E., Huerta-Ruelas, J., González-Barbosa, J., & Cárdenas-Pérez, C. (2016). Sistema de Adquisición de Señales SEMG para la Detección de Fatiga Muscular. *Revista mexicana de ingeniería biomédica*.

- [50] Gila, L., Malanda, A., Rodríguez Carreño, I., Rodríguez Falces, J., & Navallas, J. (2009). Métodos de procesamiento y análisis de señales electromiográficas. *Anales Sis San Navarra*.
- [51] Martínez-Carreño, L., Vega-López, E., Samano-Flores, Y., Hernández-Zavala, A., Chaparro-Cardenas, S., & Jiménez-Garibay, A. (2018). Caracterización de esfuerzo muscular del miembro inferior mediante EMG no invasivo. *Memorias del xli congreso nacional de ingeniería biomédica*.
- [52] Arellano-Martínez, I., Rodríguez-Reyes, G., Quiñones-Uriostegui, I., & Arellano-Saldaña, M. (2013). Análisis espacio temporal y hallazgos clínicos de la marcha. Comparación de dos modalidades de tratamiento en niños con parálisis cerebral tipo hemiparesia espástica. Reporte preliminar. *Cirugía y Cirujanos*.
- [53] Hocoma. (s.f.). *Lokomat*. Obtenido de Hocoma: <https://www.hocoma.com/solutions/lokomat/technical-data-sheet/>
- [54] Marroquín Alonso, A., Jiménez, L., Lara Ramírez, J. S., Munera, M., Gómez, M., Rodríguez, L. E., Cifuentes, C. A. (2017). Rehabilitación robótica de la marcha con lokomat en Colombia: estado actual y oportunidades de la robótica social. *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería ACOFI*.
- [55] Llorente, L., & Robles, K. (2013). Experiencia de la terapia con lokomat en pacientes portadores de parálisis cerebral y síndromes atáxicos, Instituto de Rehabilitación Infantil Teletón Concepción Chile. *Revista Médica Clínica Las Condes*.
- [56] Wallard, L., Dietrich, G., Kerlirzin, Y., & Bredin, J. (2017). Robotic-assisted gait training improves walking abilities in diplegic children with cerebral palsy. *European Journal of Paediatric Neurology*.
- [57] Weinberger, R., Warken, B., König, H., Vill, K., Gerstl, L., Borggraefe, I., Von Kries, R. (2019). Three by three weeks of robot-enhanced repetitive gait therapy within a global rehabilitation plan improves gross motor development in children with cerebral palsy - a retrospective cohort study. *European Journal of Paediatric Neurology*.
- [58] Phelan, S., Gibson, B., & Wrigth, F. (2015). What is it like to walk with the help of a robot? Children's perspectives on robotic gait training technology. *Disability and Rehabilitation*.
- [59] Peri, E., Turconi, A., Biffi, E., Maghini, C., Panzeri, D., Morganti, R., Gagliardi, C. (2017). Effects of dose and duration of Robot-Assisted Gait Training on walking ability of children affected by cerebral palsy. *Technology and Health Care*.
- [60] Children's Minnesota. (s.f.). *Sistema de clasificación de la función motora gruesa*. Obtenido de Children's: <https://www.childrensmn.org/educationmaterials/childrensmn/article/17457/sistema-de-clasificacion-de-la-funcion-motora-gruesa/>
- [61] Shuzhi Sam Ge, Agnieszka Wykowska., & Oussama Khatib. (2018). *International Journal of Social Robotics*. Springer.
- [62] Dawe, J., Sutherland, C., Barco, A., & Broadbent, E. (2019). Can social robots help children in healthcare contexts? A scoping review. *BMJ Paediatrics*.
- [63] Iwata, H., & Sugano, S. (2009). Design of human symbiotic robot TWENDY-ONE. *Proceedings of the 2009 IEEE international conference on Robotics and Automation*.

- [64] Borovac, B. A., Gnjatovic, M., Savic, S., Rakovic, M., & Nikolic, M. (2016). Human-Like Robot MARKO in the Rehabilitation of Children with Cerebral Palsy. En H. Bleuler, M. Bouri, F. Mondada, D. Pisla, A. Rodic, & P. Helmer, *New Trends in Medical and Service Robots: Assistive, Surgical and Educational Robotics*.
- [65] Schneider, S., & Kummert, F. (2016). Exercising with a humanoid companion is more effective than exercising alone. *Conference: 2016 IEEE-RAS 16th International Conference on Humanoid Robots (Humanoids)*.
- [66] Rouse, M. (2014). Social robot. Obtenido de TechTarget: <https://searchenterpriseai.techtarget.com/definicion/social-robot>
- [67] Pennisi, P., Tonacci, A., Tartarisco, G., Billeci, L., Ruta, L., Gangemi, S., & Pioggia, G. (2016). Autism and social robotics: A systematic review. *Autism Research*.
- [68] Bekele, E., Crittendon, J. A., Swanson, A., Sarkar, N., & Warren, Z. E. (2014). Pilot clinical application of an adaptive robotic system for young children with autism. *Autism*.
- [69] Warren, Z., Zheng, Z., Swanson, A., Bekele, E., Zhang, L., Crittendon, J., Sarkar, N. (2015). Can robotic interaction improve joint attention skills? *Journal of Autism and Developmental Disorders*.
- [70] Michuad, F., Salter, T., Duquette, A., Mercier, H., Lauria, M., Larouche, H., & Larose, F. (2007). Assistive technologies and child-robot interaction. *Conference: Association for the Advancement of Artificial Intelligence*.
- [71] Fridin, M., & Belokopytov, M. (2014). Robotics Agent Coacher for CP motor Function (RAC CP Fun). *Rehabilitation Robotics and Human-Robot Interaction*.
- [72] Kozyavkin, V., Kachmar, O., & Ablikova, I. (2014). Humanoid Social Robots in the Rehabilitation of Children with Cerebral Palsy. *Proceedings of the 8th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*.
- [73] Otero Ortega, A. (2018). *Enfoques de investigación*.
- [74] Riverbank computing. (s.f.). ¿Qué es PyQt? Obtenido de Riverbank computing: <https://riverbankcomputing.com/software/pyqt/intro>
- [75] RIP Tutorial. (s.f.). Empezando con pyqt4. Obtenido de RIP Tutorial: <https://riptutorial.com/es/pyqt4>
- [76] Benítez Sandoval, E. (2012). *Interacción Humano Robot y sus aplicaciones educativas*.
- [77] SoftBank Robotics. (2017). Softbank robotics documentation. Obtenido de SoftBank Robotics: <http://doc.aldebaran.com/2-8/index.html>
- [78] Addlink Software Científico. (2019). ¿Qué es una prueba de hipótesis? Obtenido de Addlink Software Científico : <https://www.addlink.es/noticias/minitab/2852-que-es-una-prueba-de-hipotesis>
- [79] Rohen, V. (2013). *Pruebas de Hipótesis*.
- [80] Addlink Software Científico. (2019). Comprendamos las pruebas de hipótesis: Niveles de significación (Alfa) y P valores en estadística. Obtenido de Addlink Software Científico: <https://www.addlink.es/noticias/minitab/2873-comprendamos-las-pruebas-de-hipotesis-niveles-de-significacion-alfa-y-p-valores-en-estadistica>
- [81] Academia Europea de Pacientes. (2017). Valor P. Obtenido de Academia Europea de Pacientes: <https://www.eupati.eu/es/glossary/valor-p/>

ANEXOS

Anexo 1

Protocolo de interacción robótica para niños que presentan PC y realizan entrenamiento de marcha con Lokomat

Protocolo Experimental

1 Resumen

En este documento se presenta un protocolo experimental de interacción enfocado a niños con parálisis cerebral que realizan entrenamiento de marcha con Lokomat con el fin de determinar si son capaces de comprender y seguir instrucciones proporcionadas por el robot social NAO.

2 Planteamiento del problema

De acuerdo con la Organización mundial de la salud se calcula que todos los años más de un millón de niños que sobreviven a la asfixia en el nacimiento tienen después problemas como parálisis cerebral, dificultades de aprendizaje y otras discapacidades [1].

La parálisis cerebral (PC) es un término genérico que reúne un grupo de condiciones motoras no progresivas y no contagiosas, es la discapacidad física más común en los niños. Las características más comunes de los niños con PC son la espasticidad, debilidad muscular, balance y poca función motora. La PC también puede afectar el desarrollo social, cognitivo y educativo de los niños [2] [3].

Para mejorar estas condiciones se realizan tratamientos de rehabilitación física. Estas sesiones pueden darse con apoyo de fisioterapeutas, exoesqueletos, órtesis, robots, entre otros. Todos éstos con el mismo fin, mejorar el movimiento y llevarlo a su máximo nivel de desempeño físico para que la persona con discapacidad, en este caso el niño con parálisis cerebral pueda recuperar su autonomía.

Actualmente, el Lokomat es uno de los robots de rehabilitación más utilizados y validados [4]. El uso del Lokomat, por períodos largos de tiempo, permite lograr y mantener patrones de marcha similares a los fisiológicos. En una sesión, el dispositivo robótico hace la mayor parte del trabajo pesado que se necesita para realizar la marcha.

El patrón de marcha es constante en toda la sesión y el ejercicio puede ser mantenido por largos periodos de tiempo haciéndolo más efectivo [5].

En estudios anteriores se habla de beneficios de usar Robótica de asistencia social en terapias de rehabilitación para mejorar la función física y cognitiva de los niños con PC [2].

De acuerdo con SAR el robot tiene como objetivo crear una interacción cercana y efectiva con un usuario humano con el fin de brindar asistencia y lograr un progreso medible en convalecencia, rehabilitación, aprendizaje, etc [6].

En estudios anteriores realizados en adultos se encontró que la robótica social contribuye de manera positiva a las terapias de rehabilitación. Es por esto que en el presente estudio se desea implementar un robot social para una sesión con el niño en un espacio seguro y controlado. Todo esto con la intención de determinar si las instrucciones dadas por el robot son entendidas y seguidas por niño, si el volumen usado es el correcto y que el niño reconozca correctamente partes del cuerpo.

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Determinar si los niños con parálisis cerebral que realizan entrenamiento de marcha con Lokomat de la clínica Goleman pueden seguir instrucciones dadas por el robot social NAO, reconocen sus partes del cuerpo y a su vez centran su atención en el robot durante la sesión.

4 Metodología

Durante una sesión de introducción, el robot social NAO será presentado al niño, con ayuda de la interfaz asociada se podrá establecer un entorno de comunicación (Ver figura 1). Es esta sesión el robot le pedirá al niño que realice diferentes actividades la instrucción se repetirá máximo tres veces. Todo se realizará en la clínica Goleman y con la supervisión de un terapeuta, el cual proporcionará información adicional del niño tales como si tiene la capacidad de contestar verbalmente o no y si tiene algún tipo de discapacidad visual o auditiva, esta información la proporcionarán de manera oral y libre.

Estas sesiones serán grabadas para posteriormente evaluar la respuesta a las actividades del niño y su atención al robot (tiempo en que el niño mira al robot por más de 3 s).

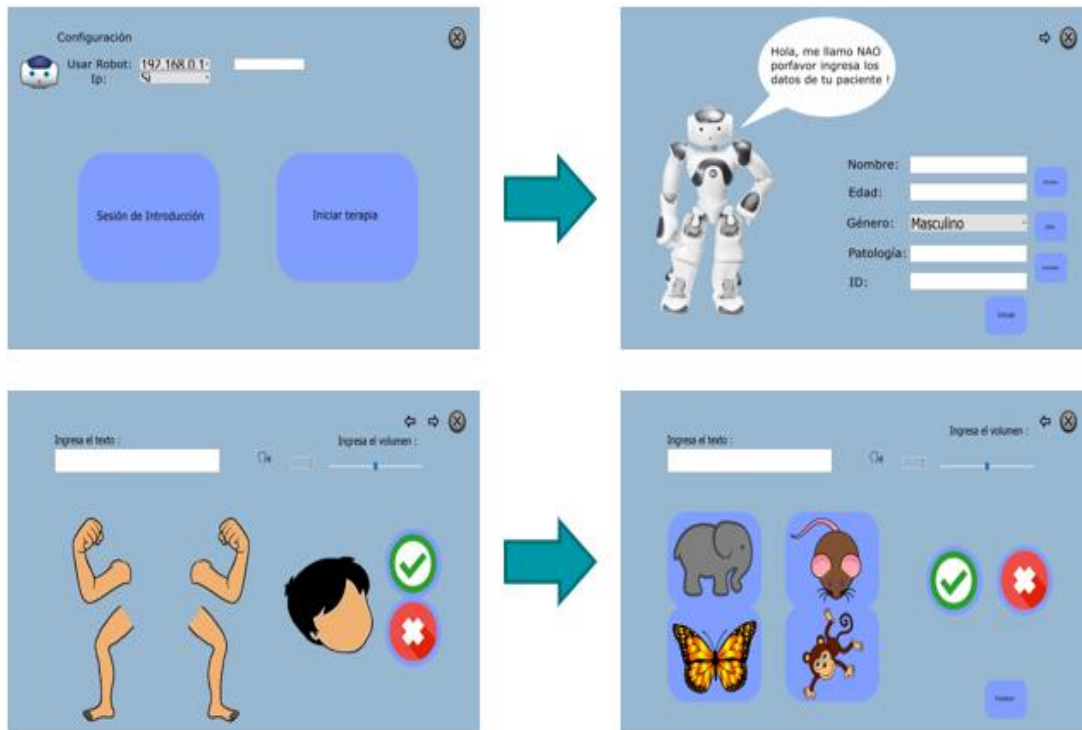


Figura 1. Interfaz utilizada para la sesión de introducción

4.1 Definición de variables

Las variables de este estudio se clasificarán en tres grupos: Presentación, Partes del cuerpo e Adivina el animal.

4.1.1 Variables a medir

1. Presentación: Se preguntará un máximo de tres veces al niño por su nombre, edad y actividad favorita.
 - Score P: Puntuación otorgada al niño dependiendo del desempeño (máximo 9 puntos) (Ver tabla 1)

Tabla 1. Esquema de respuesta para evaluar la fase de presentación

Acción	Score
Tarea 1	3 El niño responde después del primer llamado del robot
- Mencionar Nombre	2 El niño responde después del segundo llamado del robot
	1 El niño responde después del tercer llamado del robot
	0 El niño no responde
Tarea 2	3 El niño responde después del primer llamado del robot
- Mencionar Edad	2 El niño responde después del segundo llamado del robot
	1 El niño responde después del tercer llamado del robot

	0 El niño no responde
Tarea 3	3 El niño responde después del primer llamado del robot
- Mencionar	2 El niño responde después del segundo llamado del robot
Actividad	1 El niño responde después del tercer llamado del robot
	0 El niño no responde

Si el niño no puede contestar verbalmente esta fase se omite.

2. Partes del cuerpo: Se preguntará un máximo de tres veces al niño por cada parte del cuerpo después de que el robot la enseñe primero.
- Score C: Puntuación otorgada al niño dependiendo del desempeño (máximo 15 puntos) (Ver tabla 2)

Tabla 2. Esquema de respuesta para evaluar la fase de atención conjunta

Acción	Score
Tarea 1	3 El niño señala después del primer llamado del robot
- Señalar	2 El niño señala después del segundo llamado del robot
Pierna derecha	1 El niño señala después del tercer llamado del robot
	0 El niño no señala
Tarea 2	3 El niño señala después del primer llamado del robot
- Señalar	2 El niño señala después del segundo llamado del robot
Pierna izquierda	1 El niño señala después del tercer llamado del robot
	0 El niño no señala
Tarea 3	3 El niño señala después del primer llamado del robot
- Señalar	2 El niño señala después del segundo llamado del robot
Brazo derecho	1 El niño señala después del tercer llamado del robot
	0 El niño no señala
Tarea 4	3 El niño señala después del primer llamado del robot
- Señalar	2 El niño señala después del segundo llamado del robot
Brazo izquierdo	1 El niño señala después del tercer llamado del robot
	0 El niño no señala
Tarea 5	3 El niño señala después del primer llamado del robot
- Señalar	2 El niño señala después del segundo llamado del robot
Cabeza	1 El niño señala después del tercer llamado del robot
	0 El niño no señala

3. Adivina e imita el animal: Se preguntará un máximo de tres veces al niño por cada animal que el robot imite.
- Score A: Puntuación otorgada al niño dependiendo del desempeño (máximo 9 puntos) (Ver tabla 3)

Tabla 3. Esquema de respuesta para evaluar la fase de Adivina e imita el animal

Acción	Score
Tarea 1	3 El niño adivina o imita después del primer llamado del robot
- Adivina elefante	2 El niño adivina o imita después del segundo llamado del robot
	1 El niño adivina o imita después del tercer llamado del robot
	0 El niño no adivina o imita
Tarea 2	3 El niño adivina o imita después del primer llamado del robot
- Adivina gorila	2 El niño adivina o imita después del segundo llamado del robot
	1 El niño adivina o imita después del tercer llamado del robot
	0 El niño no adivina o imita
Tarea 3	3 El niño adivina o imita después del primer llamado del robot
- Adivina ave	2 El niño adivina o imita después del segundo llamado del robot
	1 El niño adivina o imita después del tercer llamado del robot
	0 El niño no adivina o imita

4. Score total: Suma de los puntajes de las tres fases.
5. Atención al robot: porcentaje de tiempo en que el niño centra su atención en el robot por más de 3 segundos.

Teniendo en cuenta el hecho de que el terapeuta al inicio de la sesión especifica si el participante realiza normalmente las actividades propuestas en las pruebas, se parte de la hipótesis de que, si existe algún error en la ejecución de las actividades (tareas 2 y 3), esto será tomado como que el niño no entiende la instrucción del robot. Todas las instrucciones tendrán el mismo orden para todos los niños.

4.2 Tipo de estudio y diseño general

Esta investigación es de tipo experimental y se basa en un protocolo no invasivo, en el cual se evaluará la capacidad del niño de seguir instrucciones que sean indicadas por el robot social NAO.

4.3 Universo de estudio

En este proyecto se utilizará una muestra no aleatoria sobre la base de personas que deseen participar voluntariamente en el proyecto. Estos serán seleccionados teniendo en cuenta que su terapia incluya el sistema de rehabilitación Lokomat. La investigación se realizará en el mayor número de niños que deseen participar.

Todos los sujetos serán invitados formalmente a participar en el estudio con el documento *Información del paciente* y el *Consentimiento informado*.

4.3.1 Criterios de inclusión

Niños con parálisis cerebral, que su sesión de terapia incluya el sistema de rehabilitación Lokomat y que obtengan el consentimiento informado por parte de su representante legal/acudiente.

4.3.2 Criterios de exclusión

Niños con algún déficit de audición y/o visión, que no tengan control para sostener su tronco y niños con algún otro tipo de discapacidad física no asociada a PC.

4.4 Equipos e instalaciones

El estudio cuenta con una serie de instrumentos necesarios para su desarrollo. Los instrumentos principales son un dispositivo robótico que se usará como mediador en la intervención (Robot humanoide NAO), este será controlado por medio de una Tablet que contendrá la interfaz asociada. Adicionalmente, se requiere una cámara la cual registrará el comportamiento del niño durante toda la intervención. El niño no vestirá ningún tipo de sensor.

4.5 Procedimiento

La sesión se llevará a cabo en la sala de rehabilitación de la clínica Goleman. Toda la ambientación de cámaras y del robot se hará antes de que el niño entre a la sesión con el fin de que se sienta lo más cómodo posible.

La duración de la sesión será de 10 a 15 minutos, este tiempo puede variar dependiendo del participante y el equipo desarrollador. La sesión tendrá tres fases:

1. Fase de presentación: En esta fase se le mostrará el robot al niño para que se sienta seguro y lo conozca, el robot se presentará y lo saludará. Seguido de esto el robot preguntará el nombre y la edad del niño y algunas preguntas sobre gustos personales (Actividad favorita).

2. Fase de partes del cuerpo: En esta fase el robot le pedirá al niño que señale partes de su cuerpo (brazos, piernas y cabeza) y dará frases motivadoras si lo logra. El robot repetirá la instrucción varias veces (3).
3. Fase de Imitación: En esta fase el robot realizará movimientos por cada animal que imite que el niño debe reproducir de la mejor forma posible. Con esta fase se espera que si el niño no tiene la capacidad de contestar verbalmente pueda hacerlo corporalmente. Al final de esta fase el robot se despedirá del niño y se dará por terminada la sesión de introducción.

Información del paciente

Este formulario de consentimiento informado se dirige a las personas que se invitan a participar voluntariamente en la investigación descrita a continuación:

Introducción

Estas hojas de consentimiento informado pueden contener palabras que usted no entienda. Por favor pregunte al investigador principal o a cualquier persona que haga parte del estudio para que le explique cualquier palabra o información que no sea de su entendimiento. Se le dará una copia del documento completo de consentimiento informado.

Propósito

La interacción robótica es una herramienta que se está utilizando en la actualidad para motivar las sesiones de terapia y así mismo mejorarlas. Para los niños, los robots son más llamativos por lo que el impacto puede ser mayor.

Por esto, en este estudio se implementará un robot social que realizará actividades con el niño dándole instrucciones, se necesita determinar si el niño las entiende y responde a ella, así como también si es capaz de reconocer las partes del cuerpo.

Intervención y tipo de investigación

Esta investigación es de tipo experimental y se basa en un protocolo no invasivo, en el cual se evaluará la capacidad del niño de seguir instrucciones que sean indicadas por el robot social NAO.

Selección de participantes

En este proyecto se utilizará una muestra no aleatoria sobre la base de personas que deseen participar voluntariamente en el proyecto. Estos serán seleccionados teniendo en cuenta que su terapia incluya el sistema de rehabilitación Lokomat. La investigación se realizará en el mayor número de niños que deseen participar.

Criterios de inclusión

Niños con parálisis cerebral, que obtengan el consentimiento informado por parte de su representante legal/acudiente.

Criterios de exclusión

Niños con algún déficit de audición y/o visión, que no tengan control para sostener su tronco y niños con algún otro tipo de discapacidad física no asociada a PC.

Su participación en esta investigación es totalmente voluntaria. Usted puede elegir participar o no. Tanto si elige participar o no, continuarán todos los servicios que recibe en esta institución de manera normal. Usted puede cambiar de idea más tarde y dejar de participar aun cuando haya aceptado antes.

Procedimientos y Protocolo

Participará en la investigación todo el que desee hacerlo y cumpla con los criterios. Cada participante deberá culminar todas las sesiones (1) del estudio.

La sesión se llevará a cabo en la sala de rehabilitación de la clínica Goleman. Toda la ambientación de cámaras y del robot se hará antes de que el niño entre a la sesión con el fin de que se sienta lo más cómodo posible.

La duración de la sesión será de 10 a 15 minutos, este tiempo puede variar dependiendo del participante y el equipo desarrollador. La sesión tendrá tres fases:

1. Fase de presentación: En esta fase se le mostrará el robot al niño para que se sienta seguro y lo conozca, el robot se presentará y lo saludará. Seguido de esto el robot preguntará el nombre y la edad del niño y algunas preguntas sobre gustos personales (Actividad favorita).
2. Fase de partes del cuerpo: En esta fase el robot le pedirá al niño que señale partes de su cuerpo (brazos, piernas y cabeza) y dará frases motivadoras si lo logra. El robot repetirá la instrucción varias veces (3).
3. Fase de Imitación: En esta fase el robot realizará movimientos por cada animal que imite que el niño debe reproducir de la mejor forma posible. Con esta fase se espera que si el niño no tiene la capacidad de contestar verbalmente pueda hacerlo corporalmente. Al final de esta fase el robot se despedirá del niño y se dará por terminada la sesión de introducción.

Cada fase puede durar de 3 a 5 minutos. Se grabará toda la sesión.

Riesgos

La participación en esta investigación no expone a los niños a ningún riesgo mayor. Al participar en esta investigación es posible que los niños experimenten molestias debidas, al sonido del robot y de los elementos mecánicos que lo componen, a su apariencia y a su voz.

Beneficios

Este proyecto puede que no conlleve un beneficio puntual e inmediato para los participantes, sin embargo, es probable que su participación permita que el niño genere un entorno de confianza con el robot y se sienta cómodo. Es posible que no se genere beneficio directo para la sociedad en la etapa actual del proyecto de investigación, pero es probable que, en las etapas posteriores se generen herramientas de base tecnológica que mejoren las sesiones de terapia tradicionales para los niños con PC.

Incentivos

No se le dará ningún dinero, regalos o incentivos por tomar parte en esta investigación.

Confidencialidad

En este proyecto la información será vinculada la persona a quien se refiere. Esta información solo la manejará el grupo de trabajo. De esta forma se protege la información personal de los sujetos participantes. La identidad y el rostro del niño nunca serán revelados o publicados.

Compartiendo los resultados

Del conocimiento que obtengamos por realizar esta investigación se publicaran los resultados para que otras personas interesadas puedan aprender de la misma. No se compartirá información confidencial.

Derecho a negarse o retirarse

La participación en esta investigación es completamente voluntaria. Puede dejar de participar en cualquier momento. Es su elección y todos sus derechos serán respetados.

A quien contactar

Si tiene cualquier pregunta puede hacerlas ahora o después, incluso después de haberse iniciado el estudio.

En caso de tener preguntas después, puede contactar cualquiera de las siguientes personas:

Marcela Munera: (+57) 310-273-4857; marcela.munera@escuelaing.edu.co

Carlos Cifuentes: (+57) 304-212-0032; carlos.cifuentes@escuelaing.edu.co

Consentimiento informado

Yo, _____, identificado con cedula de ciudadanía número _____, actuando en mi calidad de representante legal y/o acudiente del niño(a) _____, declaro que he leído y comprendido el presente documento y todas mis preguntas han sido respondidas satisfactoriamente; por lo tanto doy mi consentimiento informado para participar en la investigación titulada "Protocolo de interacción robótica para niños que presentan PC y realizan entrenamiento de marcha con Lokomat". Estoy de acuerdo con que su nombre, edad, rostro y otros datos relacionados con sus capacidades perceptivas sean almacenados. Se que puedo retirarme del experimento en cualquier momento.

Representante legal y/o acudiente del participante:

Nombre: _____

Teléfono o celular: _____

Firma: _____

Cédula: _____

Declaración del investigador

Yo, _____, certifico que le he explicado a esta persona la naturaleza y el objetivo de la investigación, y que esta persona entiende en que consiste su participación, los posibles riesgos y beneficios implicados. Todas las preguntas que esta persona ha hecho le han sido contestadas de forma adecuada. Así mismo, he leído y explicado adecuadamente las partes del consentimiento informado. Hago constar con mi firma.

Investigador:

Nombre: _____

Cédula: _____

Firma Investigador: _____

Fecha (aaaa/mm/dd): _____

Anexo 2

Protocolo para la integración de un robot social y sensores de EMG para niños que presentan PC y realizan entrenamiento de marcha con Lokomat

1 Resumen

En este documento se presenta un protocolo experimental clínico enfocado a niños con parálisis cerebral que realizan entrenamiento de marcha con Lokomat con el fin de integrar un robot social y sensores de EMG que ayuden a realimentar positivamente al niño durante la sesión indicándole cuál de sus piernas debe realizar mayor movimiento.

2 Planteamiento del problema

La discapacidad es compleja, dinámica, multidimensional y controvertida [1]. Según estimaciones de la Organización Mundial de la Salud en 2010 más de mil millones de personas viven con algún tipo de discapacidad; o sea, alrededor del 15% de la población mundial [2].

La parálisis cerebral (PC) es un término genérico que reúne un grupo de condiciones motoras no progresivas y no contagiosas, es la discapacidad física más común en los niños. Las características más comunes de los niños con PC son la espasticidad, debilidad muscular, balance y poca función motora. La PC también puede afectar el desarrollo social, cognitivo y educativo de los niños [3] [4]. Junto con los déficits motores, hay condiciones coexistentes que comúnmente ocurren con el PC ya sea cognitivas o sensoriales [5]. Para las terapias de rehabilitación un objetivo muy importante es mejorar la movilidad y la capacidad de caminar. La mejora de la marcha tiene un impacto positivo en el logro de las actividades diarias y sociales [6].

Los terapeutas tienen una carga física considerable en el desarrollo de actividades de rehabilitación debido a que son multitareas, lo cual puede dificultar la realización total de estos [7].

La robótica asistencial es una tecnología que se está utilizando ampliamente en la rehabilitación [8]. La asistencia robótica en rehabilitación es generalmente bien recibida por los pacientes y ha demostrado ser un complemento motivador en las terapias para las personas que sufren de discapacidades motoras. Es decir, existe un nuevo interés en el uso de robots sociales como asistentes en los procesos de rehabilitación [9]. Las ventajas de la terapia de rehabilitación para niños con parálisis cerebral se han visto beneficiadas debido al aumento de aplicaciones que utilizan la solución robótica a los problemas físicos [10].

Actualmente, el Lokomat es uno de los robots de rehabilitación más utilizados y validados para terapia de marcha [11]. El uso del Lokomat, por períodos largos de tiempo, permite lograr y mantener patrones de marcha similares a los fisiológicos. En una sesión, el dispositivo robótico hace la mayor parte del trabajo pesado que se necesita para realizar la marcha. El patrón de marcha es constante en toda la sesión y el ejercicio puede ser mantenido por largos periodos de tiempo haciéndolo más efectivo [12].

Los registros de electromiografía (EMG) han demostrado que los patrones de actividad en varios músculos que están activos durante la marcha pueden exhibir una alta variabilidad paso a paso. Sin embargo, cuando la actividad se promedia en conjunto en varios pasos, cada uno de los 25

músculos de las extremidades inferiores y el tronco tiene un patrón de actividad promedio característico sobre un ciclo de pasos de locomoción [13].

En estudios anteriores realizados en adultos se encontró que la robótica social contribuye de manera positiva a las terapias de rehabilitación asistida por Lokomat. Por lo que el presente estudio desea implementar un robot social y sensores de electromiografía para apoyar en sesiones de terapia con el niño mientras este se encuentra en el Lokomat. Todo esto con la intención de que el robot social NAO ayude a los niños con parálisis cerebral a partir de la realimentación positiva en tiempo real de las señales de electromiografía relevantes en el desempeño de las sesiones y, a su vez, colaborar con los terapeutas para reducir sus tareas.

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Integrar el robot social NAO y sensores de EMG que ayuden a realimentar positivamente a los niños con parálisis cerebral a partir de la realimentación positiva durante la sesión indicándoles cuál de sus piernas debe realizar mayor movimiento con ayuda de sensores de electromiografía y colaborar con los terapeutas para reducir sus tareas.

4 Metodología

Con ayuda de una interfaz asociada se podrá establecer un entorno de comunicación (Ver figura 1) durante 15 sesiones de terapia el robot social NAO ayudará a los niños con parálisis cerebral a partir de la realimentación positiva en tiempo real con respecto a sus miembros inferiores, indicándole cuando deba utilizar más una pierna que la otra y motivacionales durante el desempeño de las sesiones y a su vez colaborará con los terapeutas a reducir sus tareas. El objetivo de este escenario es que mientras el participante esté en la sesión de terapia con el Lokomat, el robot se posicione a la altura de su cara con el fin de que se vea de frente y no se generen malas posturas. El robot estará activo durante toda la sesión, motivando al niño cuando su desempeño sea el deseado y realimentando sus movimientos cuando sea necesario, durante toda la sesión el fisioterapeuta estará presente guiando igualmente la terapia (ver figura 2).

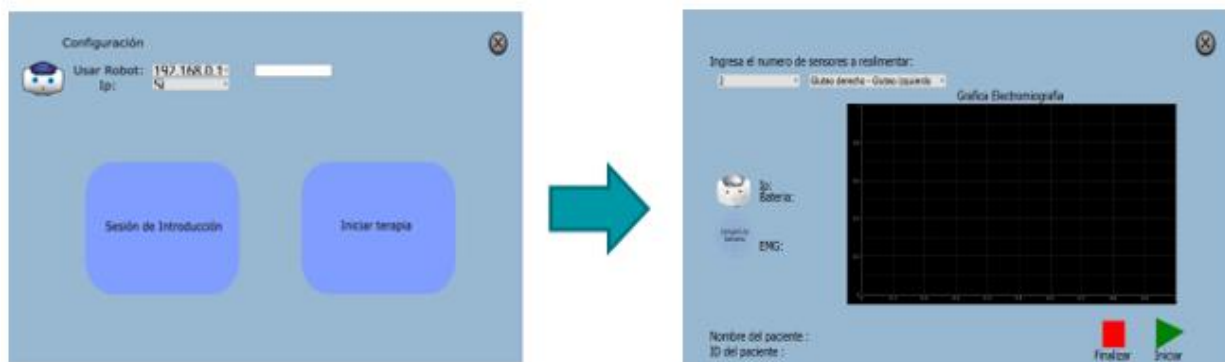


Figura 1. Interfaz utilizada para la sesión de terapia

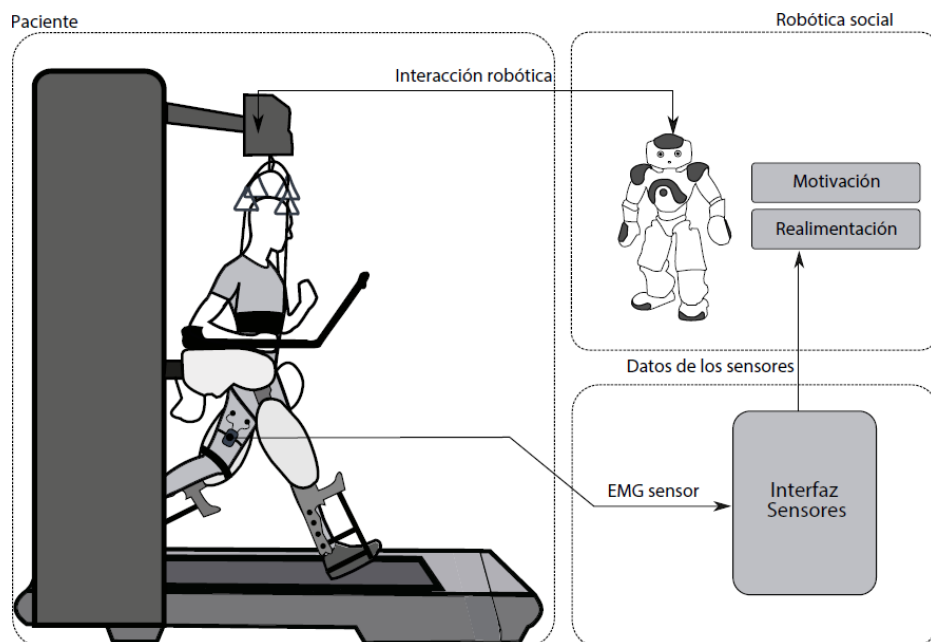


Figura 2. Escenario experimental

4.1 Definición de variables

Las variables de este estudio serán señales de electromiografía que se registrarán por medio de sensores, estas ayudarán con la realimentación durante la sesión de terapia.

4.2 Tipo de estudio y diseño general

Esta investigación es de tipo experimental y se basa en un protocolo no invasivo, en el cual se medirán señales de electromiografía durante toda la sesión de rehabilitación de marcha asistida por Lokomat.

4.3 Universo de estudio

En este proyecto se utilizará una muestra no aleatoria sobre la base de personas que deseen participar voluntariamente en el proyecto. Estos serán seleccionados teniendo en cuenta que su terapia incluya el sistema de rehabilitación Lokomat y que hayan participado previamente en el estudio "Protocolo de interacción robótica para niños que presentan PC y realizan entrenamiento de marcha con Lokomat".

Todos los sujetos serán invitados formalmente a participar en el estudio con el documento *Información del paciente* y el *Consentimiento informado*.

4.3.1 Criterios de inclusión

Niños con parálisis cerebral, que su sesión de terapia incluya el sistema robótico de rehabilitación Lokomat, que hayan participado previamente en el "Protocolo de interacción robótica para niños que presentan PC y realizan entrenamiento de marcha con Lokomat" y que obtengan el consentimiento informado por parte de su representante legal/acudiente.

4.3.2 Criterios de exclusión

Niños con algún déficit de audición y/o visión, que no tengan control para sostener su tronco, que su terapia de rehabilitación no incluya el dispositivo Lokomat y niños con algún otro tipo de discapacidad física no asociada a PC.

4.4 Equipos e instalaciones

El estudio cuenta con una serie de instrumentos necesarios para su desarrollo. Los instrumentos principales son un dispositivo robótico que se usará como mediador en la intervención (Robot humanoide NAO), este será controlado por medio de una Tablet que contendrá la interfaz asociada. Adicionalmente, se requiere una cámara la cual registrará toda la sesión de terapia en el Lokomat. A los niños se le colocarán electrodos conectados a sensores en cada una de sus piernas.

4.5 Procedimiento

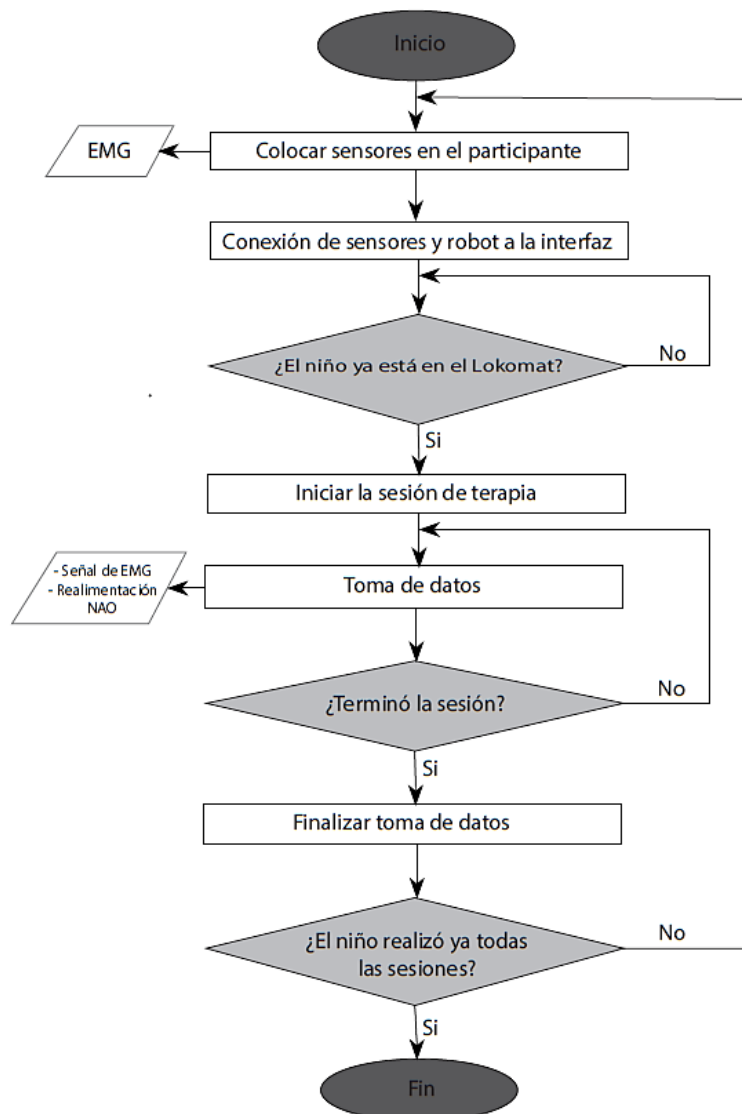


Figura 3. Diagrama de flujo del procedimiento del protocolo

Información del paciente

Este formulario de consentimiento informado se dirige a las personas que se invitan a participar voluntariamente en la investigación descrita a continuación:

Introducción

Estas hojas de consentimiento informado pueden contener palabras que usted no entienda. Por favor pregunte al investigador principal o a cualquier persona que haga parte del estudio para que le explique cualquier palabra o información que no sea de su entendimiento. Se le dará una copia del documento completo de consentimiento informado.

Propósito

La interacción robótica es una herramienta que se está utilizando en la actualidad para motivar las sesiones de terapia y así mismo mejorarlas. Para los niños, los robots son más llamativos por lo que el impacto puede ser mayor. Las señales de electromiografía pueden brindar información sobre el comportamiento eléctrico de los músculos durante la marcha y ser utilizadas para proporcionar realimentación.

Por esto, en este estudio se implementará un robot social y sensores de EMG con la intención de que el robot social NAO ayude a los niños a partir de la realimentación positiva en tiempo real de las señales de electromiografía relevantes en el desempeño de las sesiones y, a su vez, colaborar con los terapeutas para reducir sus tareas.

Intervención y tipo de investigación

Esta investigación es de tipo experimental y se basa en un protocolo no invasivo, en el cual se medirán señales de electromiografía durante toda la sesión de rehabilitación de marcha asistida por Lokomat.

Selección de participantes

En este proyecto se utilizará una muestra no aleatoria sobre la base de personas que deseen participar voluntariamente en el proyecto. Estos serán seleccionados teniendo en cuenta que su terapia incluya el sistema de rehabilitación Lokomat y que hayan participado previamente en el estudio "Protocolo de interacción robótica para niños que presentan PC y realizan entrenamiento de marcha con Lokomat".

Criterios de inclusión

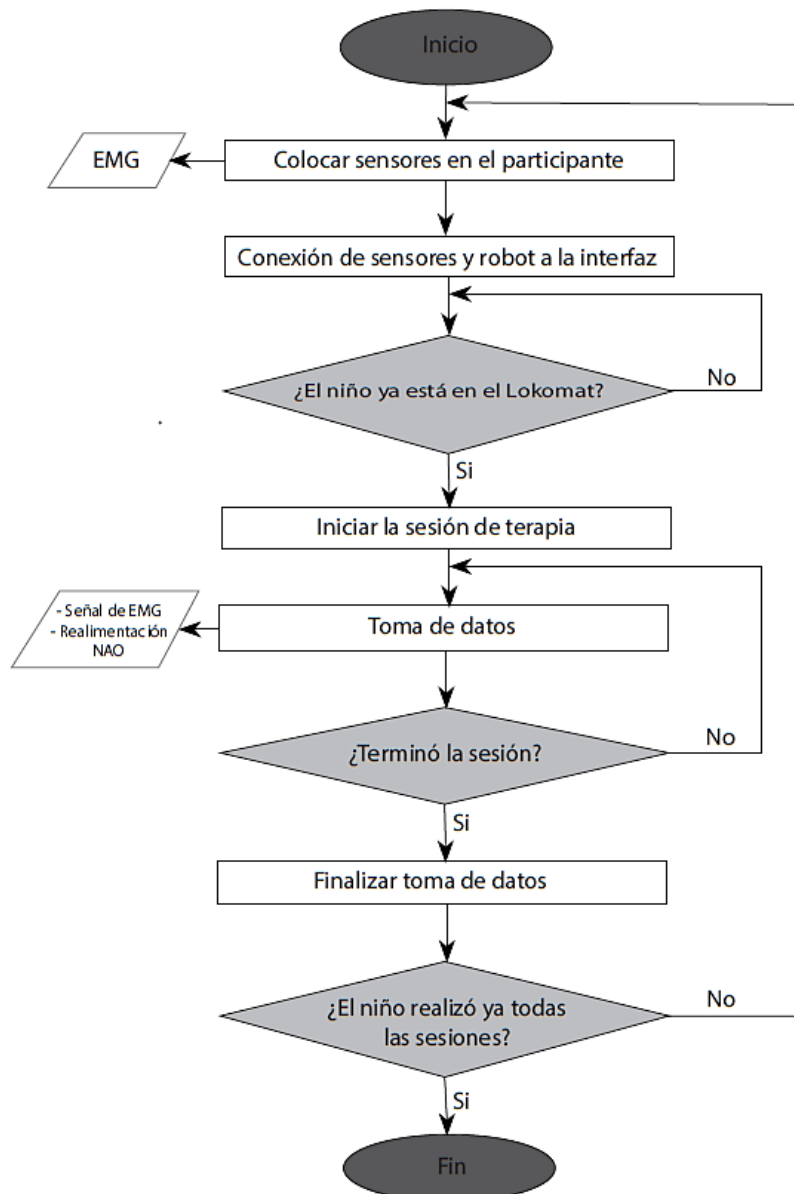
Niños con parálisis cerebral, que su sesión de terapia incluya el sistema robótico de rehabilitación Lokomat, que hayan participado previamente en el "Protocolo de interacción robótica para niños que presentan PC y realizan entrenamiento de marcha con Lokomat" y que obtengan el consentimiento informado por parte de su representante legal/acudiente.

Criterios de exclusión

Niños con algún déficit de audición y/o visión, que no tengan control para sostener su tronco, que su terapia de rehabilitación no incluya el dispositivo Lokomat y niños con algún otro tipo de discapacidad física no asociada a PC.

Su participación en esta investigación es totalmente voluntaria. Usted puede elegir participar o no. Tanto si elige participar o no, continuaran todos los servicios que recibe en esta institución de manera normal. Usted puede cambiar de idea más tarde y dejar de participar aun cuando haya aceptado antes.

Procedimientos y Protocolo



Riesgos

La participación en esta investigación no expone a los niños a ningún riesgo mayor. Al participar en esta investigación es posible que los niños experimenten molestias debidas, al sonido del robot y de los elementos mecánicos que lo componen, a su apariencia y a su voz y a los electrodos situados en sus piernas debido a que estos pueden resbalarse y caerse.

Beneficios

Este proyecto puede que no conlleve un beneficio puntual e inmediato para los participantes, sin embargo, es probable que su participación permita que el niño mejore su marcha y se motive más por participar en las sesiones. Es posible que no se genere beneficio directo para la sociedad en la etapa actual del proyecto de investigación, pero es probable que, en las etapas posteriores se generen herramientas de base tecnológica que mejoren las sesiones de terapia tradicionales para los niños con PC.

Incentivos

No se le dará ningún dinero, regalos o incentivos por tomar parte en esta investigación.

Confidencialidad

En este proyecto la información será vinculada la persona a quien se refiere. Esta información solo la manejará el grupo de trabajo. De esta forma se protege la información personal de los sujetos participantes. La identidad y el rostro del niño nunca serán revelados o publicados.

Compartiendo los resultados

Del conocimiento que obtengamos por realizar esta investigación se publicaran los resultados para que otras personas interesadas puedan aprender de la misma. No se compartirá información confidencial.

Derecho a negarse o retirarse

La participación en esta investigación es completamente voluntaria. Puede dejar de participar en cualquier momento. Es su elección y todos sus derechos serán respetados.

A quien contactar

Si tiene cualquier pregunta puede hacerlas ahora o después, incluso después de haberse iniciado el estudio.

En caso de tener preguntas después, puede contactar cualquiera de las siguientes personas:

Marcela Munera: (+57) 310-273-4857; marcela.munera@escuelaing.edu.co

Carlos Cifuentes: (+57) 304-212-0032; carlos.cifuentes@escuelaing.edu.co

Consentimiento informado

Yo, _____, identificado con cedula de ciudadanía número _____, actuando en mi calidad de representante legal y/o acudiente del niño(a) _____, declaro que he leído y comprendido el presente documento y todas mis preguntas han sido respondidas satisfactoriamente; por lo tanto doy mi consentimiento informado para participar en la investigación titulada "Protocolo para la integración de un robot social y sensores de EMG para niños que presentan PC y realizan entrenamiento de marcha con Lokomat". Estoy de acuerdo con que su nombre, edad, rostro y otros datos relacionados con su fisiología y capacidades perceptivas sean almacenados. Se que puedo retirarme del experimento en cualquier momento.

Representante legal y/o acudiente del participante:

Nombre: _____

Teléfono o celular: _____

Firma: _____

Cédula: _____

Declaración del investigador

Yo, _____, certifico que le he explicado a esta persona la naturaleza y el objetivo de la investigación, y que esta persona entiende en que consiste su participación, los posibles riesgos y beneficios implicados. Todas las preguntas que esta persona ha hecho le han sido contestadas de forma adecuada. Así mismo, he leído y explicado adecuadamente las partes del consentimiento informado. Hago constar con mi firma.

Investigador:

Nombre: _____

Cédula: _____

Firma Investigador: _____

Fecha (aaaa/mm/dd): _____